

**IMPLEMENTACION DEL METODO DE INGENIERIA CONCURRENTES PARA
LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN ENTRE
CONTROLADORES Y COMPUTADORES DE GESTIÓN EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE PUERTO MALLARINO EMCALI
E.I.C.E E.S.P.**

**JULIO CESAR ECHEVERRY PAZ
JULIÁN HERNANDO OBANDO SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMAS DE INGENIERIA MECATRONICA Y ELECTRONICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

**IMPLEMENTACION DEL METODO DE INGENIERIA CONCURRENTES PARA
LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN ENTRE
CONTROLADORES Y COMPUTADORES DE GESTIÓN EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE PUERTO MALLARINO EMCALI
E.I.C.E E.S.P.**

**JULIO CESAR ECHEVERRY PAZ
JULIÁN HERNANDO OBANDO SÁNCHEZ**

**Pasantía para optar al título de Ingeniero Mecatrónico e Ingeniero
Electrónico**

**Director
ADOLFO ORTIZ ROSAS
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMAS DE INGENIERIA MECATRONICA Y ELECTRONICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico y Electrónico.

CARLOS HECTOR CRUZ

Jurado

DIEGO ALMARIO

Jurado

Santiago de Cali, 02 de Diciembre de 2008.

Santiago de Cali, 21 de octubre de 2008

Julio César Echeverry Paz

Dedico este proyecto de grado a todas las personas que me acompañaron en mi trayectoria de estudiante universitario como a mis hermanos Henry y Gustavo y mi novia Lina Marcela a mis tías y en especial a mi abuela María Bárbara Márquez de Paz que fueron de gran apoyo en mi formación, de igual manera reconozco el esfuerzo de mis profesores y tutores que dedicaron parte de sus vidas para mi enseñanza como ingeniero y a mis padres quienes me infundieron la ética y el rigor que guían mi transitar por la vida.

Julián Hernando Obando Sánchez

Enormemente dedico este esfuerzo a mis padres Hernando Obando Murillo y Lucia Sánchez Escobar quienes fueron los promotores principales de este gran logro personal, también quisiera nombrar a mis hermanos Lorena y Ricardo y a mi novia Katherine Quiceno que de alguna u otra forma fueron de gran ayuda para terminar este proyecto de grado. A mis docentes que a lo largo de toda una carrera me aportaron de cada uno de ellos lo mejor para lograr ser un excelente ingeniero y por supuesto a Dios porque simplemente sin el poder y voluntad de él no hubiese sido nada, gracias a él me levante en los momentos mas críticos de mi carrera y mi vida, gracias a él soy lo que soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la enseñanza y orientación que el ingeniero Adolfo Ortiz Rosas nos brindo para ser posible este proyecto de grado.

Agradecemos al departamento de instrumentación en especial al instrumentista Henry Guarnizo por enseñarnos sus conocimientos en este proyecto.

Agradecemos al ingeniero Luís Ángel Tobon por brindarnos la ayuda necesaria y por sus sustanciales sugerencias durante la realización del proyecto y por darnos la oportunidad de realizar la pasantía en la **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE PUERTO MALLARINO EMCALI E.I.C.E E.S.P.**

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron o participaron en la realización de nuestro proyecto hacemos extensivo nuestro más sincero agradecimiento.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	21
RESUMEN	24
INTRODUCCIÓN	25
1. ESTUDIO DEL PROCESO DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA	26
1.1 INVESTIGACIÓN TEÓRICA SOBRE POTABILIZACIÓN DE AGUA(QUIMICAS)	26
1.1.1 PH	26
1.1.2 Color	27
1.1.3 Coloide	27
1.1.4 Turbiedad	27
1.1.5 Olor y sabor	28
1.1.6 Sólidos disueltos	28
1.1.7 Sólidos en suspensión	28
1.1.8 Dureza	28
1.1.9 Alcalinidad	29
1.1.10 Conductividad	29
1.1.11 Nitratos	29
1.2 NORMATIVIDAD DEL PROCESO	29
1.2.1 Marco legal	29
1.3 INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DEL AGUA	30
1.3.1 Captación	30
1.3.2 Desarenador	31
1.3.3 Carbón activado	31

1.3.4 Precloración	31
1.3.5 Sulfato de aluminio	31
1.3.6 Coagulación y floculación	31
1.3.7 Filtración rápida	31
1.4 PROCESO DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN EMCALI (PLANTA DE PUERTO MALLARINO)	32
1.4.1 Descripción del proceso	32
1.4.2 Diagrama de flujo del proceso	36
1.5 CONCLUSION DEL CAPITULO 1	36
2. ESTABLECER UN DIAGNOSTICO TÉCNICO DETALLADO DE TODA LA INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (MECÁNICA, ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA HIDRÁULICA, NEUMÁTICA)	37
2.1 ESTUDIO DETALLADO DEL BOCATOMA	37
2.1.1 Parte eléctrica	37
2.1.2 Parte mecánica	37
2.1.3 Operación y control del sistema eléctrico	37
2.1.4 Motores 1, 2, 3, 4	38
2.1.5 Acoplador magnético	39
2.1.6 Protecciones para los acoples	39
2.1.7 Bomba	40
2.2 ESTUDIO DETALLADO DEL DESARENADOR	42
2.2.1 Operación del desarenador	43
2.2.2 Rejillas para remoción de basuras	43
2.2.3 Sistema de desagüe	43
2.2.4 Descarga del desagüe	44

2.3 ESTUDIO DETALLADO DE LOS REACTORES	45
2.3.1 Operación	48
2.3.2 Control de parámetros de tratamiento	59
2.4 ESTUDIO DETALLADO DE LOS FILTROS	50
2.4.1 Operación	52
2.4.2 Control de parámetros de filtración	54
2.4.3 Análisis de las bolas de barro	55
2.4.4 Espesor del lecho filtrante	56
2.4.5 Expansión del lecho filtrante	56
2.4.6 Turbiedad inicial después del lavado	56
2.4.7 Filtro piloto	56
2.5 ESTUDIO DETALLADO DE EL TANQUE DE CONTACTO	57
2.6 ESTUDIO DETALLADO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA TRATADA	59
2.6.1 La parte eléctrica	59
2.6.2 La parte mecánica	59
2.6.3 Operación y control del sistema eléctrico	60
2.6.4 Operación inicial de la planta	60
2.6.5 Operación normal de la planta	61
2.6.6 Bombas para agua tratada	61
2.6.7 Motor	61
2.6.8 Bomba	63
2.6.9 Sistema contra golpe de ariete	63
2.7 ESTUDIO DETALLADO DE LAS SUB-ESTACIONES ELÉCTRICAS	64
2.7.1 Sub-estación eléctrica nº 1	64

2.7.2 Sub- estación eléctrica nº 2	65
2.8 ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES	65
2.9 DOSIFICACIÓN QUÍMICA	66
2.9.1 Dosificación del coagulante	66
2.9.2 Dosificación de la cal	66
2.9.3 Dosificación del cloro	67
2.9.4 Dosificación carbón activado	68
2.10 PLANOS (MECÁNICOS, ELÉCTRICO, ELECTRÓNICOS, HIDRÁULICO, NEUMÁTICO)	69
2.10.1 Preguntas claves para el entendimiento de los diagramas “P&ID”	73
2.11 EVALUACION DE PARÁMETROS DE EQUIPOS EN EMCALI	76
2.11.1 PH (sensolyt® 700 iq)	76
2.11.2 Datos técnicos	76
2.12 OXIGENO (SONDAS DE OXÍGENO DISUELTO)	77
2.12.1 Funciona con un sistema de 3 electrodos	77
2.12.2 Datos técnicos	78
2.13 MEDICIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	79
2.13.1 Principio de medición de sólidos suspendidos	79
2.13.2 Datos técnicos	79
2.14 SLT32 NIVEL	80
2. 14.1 Datos técnicos	80
2.15. ANALIZADOR DE PH (GLI MODELO 53)	81
2.15.1 Datos técnicos	81
2.16 ANALIZADOR DE TURBIEDAD	82

2.16.1 Datos técnicos	83
2.17 ANALIZADOR DE CLORO	84
2.17.1 Datos técnicos	84
2.18 ESTADO ACTUAL DE EQUIPOS EN EMCALI PARA RED DE COMUNICACIÓN	85
2.18.1 Estado eléctrico de los Equipos en bocatoma	86
2.18.2 Estado eléctrico de los Equipos en los reactores	87
2.18.3 Estado eléctrico de los Equipos en los filtros	87
2.18.4 Estado eléctrico de los Equipos en el tanque de contacto	87
2.18.5 Estado eléctrico de los Equipos en la estación de bombeo de agua tratada	88
2.18.6 Estado eléctrico de los actuadores de la estación de bombeo de agua tratada	89
2.19 CRITERIOS CUALITATIVOS PARA LAS CALIFICACIONES DE LOS EQUIPOS EN EMCALI	90
2.19.1 Significado de las calificaciones	90
2.20 CONCLUSION DEL CAPITULO	90
3. IMPLEMENTAR EL MÉTODO DE INGENIERÍA CONCURRENTES PARA LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN	92
3.1 IDENTIFICAR EL MEJOR TIPO DE RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL QUE SEA CONFIABLE, EFICAZ Y EFICIENTE	92
3.1.1 Planeamiento de la misión	92
3.1.2 Principales objetos de marketing	92
3.1.3 Mercado primario	92
3.1.4 Mercado secundario	92
3.1.5 Premisas y restricciones	93
3.1.6 Partes implicadas	93

3.1.7 Necesidades de la empresa	93
3.1.8 Planteamiento de las necesidades enumeradas	94
3.1.9 Especificaciones de métricas y unidades	95
3.1.10 Relación de las métricas	96
3.1.11 Benchmarking	96
3.1.12 Evaluar las medidas con los competidores	98
3.1.13 Generaciones de conceptos	98
3.1.14 QFD	98
3.1.15 Asociación de los valores marginales e ideales	100
3.1.16 Clarificación del problema	100
3.1.17 Descripción del problema	100
3.1.18 Necesidades	100
3.1.19 Especificaciones	101
3.1.20 Descomposición funcional	101
3.1.21 Diagrama de descomposición funcional	102
3.1.22 Búsqueda externa	103
3.1.23 Antecedentes de dispositivos ya implementados	103
3.1.24 Tecnología dispuesta en el mercado	104
3.1.25 Búsqueda interna	104
3.1.26 Generar conceptos de solución	106
3.1.27 Árbol de clasificaciones	108
3.1.28 Combinación de conceptos	112
3.1.29 Selección de conceptos	117
3.1.30 Calificación de concepto.	118

3.1.31 Diseño detallado	120
3.2 CONCLUSION DEL CAPITULO	120
4. ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN ENTRE CONTROLADORES Y COMPUTADORES DE GESTIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE PUERTO MALLARINO EMCALI E.I.C.E E.S.P.	121
4.1 CONCLUSIÓN DEL CAPITULO	125
5. GENERAR LOS ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN Y PLANOS DE PROCESO ACTUALIZADOS	126
5.1 CONVENCIONES PARA LOS MANDOS SOBRE EL HMI	126
5.2 MANUAL DE USUARIO PARA MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	126
5.3 CONCLUSIÓN DEL CAPITULO	139
6. CONCLUSIONES	140
7. RECOMENDACIONES	142
BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXOS	145

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de PH de varias soluciones	27
Tabla 2. Niveles de dureza	28
Tabla 3. Características Físicas del agua	30
Tabla 4. Características químicas adversas a la salud	30
Tabla 5. Porcentaje de bolas de barro	56
Tabla 6. Datos técnicos PH (SensoLyt ® 700 IQ))	77
Tabla 7. Datos técnicos sensor trioxmatic	78
Tabla 8. Datos técnicos sensor de turbidez	79
Tabla 9. Datos técnicos sensor de nivel	81
Tabla 10. Datos técnicos analizador de PH (gli modelo 53)	82
Tabla 11. Datos técnicos analizador de turbiedad	83
Tabla 12. Datos técnicos analizador de cloro	85
Tabla 13. Estado eléctrico (bocatoma)	86
Tabla 14. Estado eléctrico (reactores)	87
Tabla 15. Estado eléctrico (filtros)	87
Tabla 16. Estado eléctrico (tanque de contacto)	87
Tabla 17. Estado eléctrico (estación de bombeo de agua tratada)	88
Tabla 18. Estado eléctrico de los actuadores(agua tratada)	89
Tabla 19. Necesidades de la empresa	94
Tabla 20. Planteamiento de las necesidades enumeradas	95
Tabla 21. Especificaciones de métricas y unidades	95

Tabla 22. Relación de las métricas con su respectiva necesidad	96
Tabla 23. Benchmarking	97
Tabla 24. Evaluar las medidas con los competidores	98
Tabla 25. Valor métrico asignado	98
Tabla 26. QFD	99
Tabla 27. Valores marginales e ideales	100
Tabla 28. Selección de conceptos	112
Tabla 29. Puntuación del concepto	118
Tabla 30. Calificación de concepto	119
Tabla 31. Paralelo entre Devicenet y Controlnet	122
Tabla 32. Variables relevantes en el proceso de potabilización	124

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de agua cruda	32
Figura 2. Bomba de eje vertical	32
Figura 3. Rejas	33
Figura 4. Desarenadores	33
Figura 5. Reactores	34
Figura 6. Filtros	34
Figura 7. Tanque de contacto del cloro	35
Figura 8. Estación de bombeo de agua tratada	35
Figura 9. Flujo del proceso	36
Figura 10. Botinera de equipos	37
Figura 11. Manómetro ciego	38
Figura 12. Termómetros para la medición de la temperatura de los cojinetes superior e inferior	39
Figura 13. Termómetros para la medición del agua de escape	40
Figura 14. La bomba de flujo mixto de una etapa y eje vertical	41
Figura 15. Controladores de la bomba	41
Figura16. Válvulas	42
Figura 17. Rejillas de disco	43
Figura 18. Tolvas	43
Figura 19. Tubería en anillo	44
Figura 20. Sistema de desagüe	44
Figura 21. “P&ID” del desarenador	45

Figura 22.Reactores	45
Figura 23. Floc	46
Figura 24. Control de velocidad motor turbina a y b	47
Figura 25. Válvulas automáticas de descarga	47
Figura 26. Prueba de jarras	48
Figura 27. “P&ID” reactor	50
Figura 28. Filtros	51
Figura 29. Válvulas	52
Figura 30. Válvula para aislar filtros	55
Figura 31. Sensores	55
Figura 32. “P&ID” del filtros	57
Figura 33. Tanque de contacto	58
Figura 34. Sensores (B)	58
Figura 35. “P&ID” Tanque de contacto	59
Figura 36. Sistema de bombeo	59
Figura 37. Termómetro para la chumacera	62
Figura 38. Golpe de ariete	64
Figura 39. “P&ID” estación de bombeo de aguas residuales	65
Figura 40.P&ID-sección A	69
Figura 41. P&ID-sección B	70
Figura 42. P&ID-sección c	71
Figura 43. Isométrico	72
Figura 44. Sensor sensolyt	76

Figura 45. Sensor trioxmatic	78
Figura 46. Sensor de turbidez	79
Figura 47. Sensor de nivel	80
Figura 48. Analizador de PH (gli modelo 53)	81
Figura 49. Analizador de turbiedad	83
Figura 50. Analizador de cloro	84
Figura 51. Diagrama caja negra	102
Figura 52. Diagrama de descomposición funcional	102
Figura 53. Interfaz grafico scada	103
Figura 54. Estrategia planteada por los ingenieros de EMCALI E.I.C.E E.S.P.	104
Figura 55. Estrategia 2	105
Figura 56. Estrategia 3	105
Figura 57. Diseño por los estudiantes	106
Figura 58. Árbol de clasificaciones	108
Figura 59. Combinación de conceptos	113
Figura 60. Arquitectura propuesta por los estudiantes	123
Figura 61. Pantalla de inicio	126
Figura 62. Botonera de inicio	127
Figura 63. Pantalla de inicio	127
Figura 64. Control en remoto o local	128
Figura 65. Botón de stop	128
Figura 66. Botón de start	128
Figura 67. Botón de reset	128

Figura 68. Selector de flujo	129
Figura 69. Panel de alarmas bomba 1	129
Figura 70. Bomba 5 y 6	129
Figura 71. Bomba 4 y 3	129
Figura 72. Reactor	130
Figura 73. Desarenador	130
Figura 74. Filtros	130
Figura 75. Tanque de contacto	130
Figura 76. Estación de bombeo	130
Figura 77. Variables para la bomba 1, 2, 3, 4	131
Figura 78. Variables para la bomba 5, 6	131
Figura 79. Pantalla del desarenador	131
Figura 80. Indicador de lavado	132
Figura 81. Indicador de bombeo	132
Figura 82. Amperaje	132
Figura 83. Indicador de PH y flujo	133
Figura 84. Indicador de turbiedad	133
Figura 85. Panel de alarmas reactores	133
Figura 86. Indicador de nivel	134
Figura 87. Indicador de cloro residual	134
Figura 88. Indicador de turbiedad	134
Figura 89. Indicador de Aluminio residual	134
Figura 90. Panel de alarmas filtros	135
Figura 91. Indicador de nivel	135

Figura 92. Indicador de PH	135
Figura 93. Indicador de cloro residual	136
Figura 94. Panel de alarmas tanque de contacto	136
Figura 95. Pantalla de inicio para la bomba 1	136
Figura 96. Control en remoto o local	137
Figura 97. Botón de stop	137
Figura 98. Botón de Start	137
Figura 99. Botón de reset	137
Figura 100. Variables censadas	138
Figura 101. Panel de alarmas estación de bombeo	138
Figura 102. Posición del actuador	139
Figura 103. Variables censadas	139

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Formato IFAC	145
Anexo B. Red de área local	156
Anexo C. Red de área amplia	157
Anexo D. Cable coaxial	158
Anexo E. Cable de par trenzado	159
Anexo F. Fibra óptica	160
Anexo G. Red inalámbrica	161
Anexo H. Red en anillo	162
Anexo I. Red en árbol	163
Anexo J. Red en malla	164
Anexo K. Red en bus	165
Anexo L. Red en estrella	166
Anexo M. Isométrico de distancias	167
Anexo N. Esquema general de instrumentación y tubería	168
Anexo Ñ. Panel view	169
Anexo O. Grafset	171
Anexo P. Cantidad de variables	174

GLOSARIO

ACOPLADOR MAGNÉTICO: equipo acoplado entre el motor y la bomba cuya función es regular la velocidad de la bomba.

AGUA CRUDA: agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún tratamiento suficiente, salubre y accesible.

ANTRACITA: carbón fósil amorfo, que arde con dificultad. Se utiliza para la Conformación del lecho filtrante.

ARRASTRALODOS: equipo electromecánico encargado de llevar hacia el centro, los Lodos sedimentados para facilitar su posterior evacuación.

BOMBA: dispositivo mecánico para causar flujo, o para elevar agua u otros líquidos generando presión a la salida.

BEACKERS: es un interruptor que opera bajo carga.

BOMBA DE DOS TAPAS: es una bomba centrífuga con dos juegos de rotores, Conectados en serie en una o dos corazas.

CADICA: cámara distribuidora de caudales.

CÁMARA DE SUCCIÓN: deposito donde se genera el nivel mínimo para que operen las bombas.

CANAleta DE DESAGÜE: canal por donde se vierte el agua filtrada ya sucia (ha atravesado el lecho filtrante en contra flujo) hacia el desagüe del filtro.

CAPTACION: es el conjunto de estructura necesaria para obtener agua de una fuente de abastecimiento.

CHUMACERAS: rodamiento con carcasa que recibe los esfuerzos radiales.

CISTERNA: deposito de agua, que a la vez sirve como pozo de succión para las bombas de agua tratada.

CLORO RESIDUAL: concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

COÁGULO: se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. La coagulación comienza al agregar el coagulante al agua y dura fracciones de segundo.

COLMATACIÓN: es la saturación de un filtro, cedazo, etc..., que hace resistencia al paso del agua.

DESARENADOR: componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.

DESINFECCIÓN: proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

FILTRACIÓN: proceso mediante el cual se remueve las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

FLOC: aglomeración de partículas coaguladas que chocan entre si y se pueden apreciar a simple vista.

GOLPE DE ARIETE: fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien por el cierre rápido de una válvula o apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobre elevación de la presión, sub. Presiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.

HMI: es la interfase que tiene hombre (operario) con la maquina (proceso).

MANÓMETRO: instrumento para indicar mediciones y conocer el valor específico.

MOTOR SINCRÓNICO: es aquel donde la velocidad del rotor es igual a la velocidad del campo magnético que se genera.

PH (potencial de hidrógeno): expresión de la intensidad de la condición básica o ácida de un líquido.

PLC: controlador lógico programable.

P&ID: diagramas de procesos industriales.

PURGA DE LODOS: tuberías de 6 pulgadas de diámetro, ubicadas en la parte inferior del reactor que permite evacuar los lodos y/o vaciar el reactor.

RATA DE CIRCULACIÓN: cantidad de lodo en movimiento que se mueve dentro del cono de reacción.

TEMPORIZADOR: dispositivo que permite controlar intervalos de tiempo.

VÁLVULA DE MARIPOSA: válvula de apertura rápida con giro de 90°.

VÁLVULA DE RETENCIÓN: válvula que solo permite el flujo de agua en un solo sentido.

RESUMEN

EMCALI es una empresa que contribuye al bienestar y desarrollo de la comunidad, especialmente con la prestación de servicios públicos esenciales y complementarios, comprometidos con el entorno y garantizando rentabilidad económica y social para el valle del cauca, ser una empresa pública ágil, competitiva y orientada al cliente, que nos permita convertirnos y mantenernos como la mejor alternativa en el mercado Colombiano y modelo empresarial en América Latina.

La presentación del proyecto de grado se titula implementación del método de ingeniería concurrente para la selección de la red de comunicación entre controladores y computadores de gestión en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P.

Con el estudio del proceso de potabilización de agua se logra un análisis minucioso, métodos, estrategias etc. dando como resultado:

- Una propuesta de cambiar o reemplazar los elementos de medición brindando una tecnología mas avanzada al proceso.
- Implementación del método de ingeniería concurrente.
- El estudio de los nuevos métodos de manejo de procesos para los operarios de la planta Puerto Mallarino mediante el "HMI".

Al finalizar el estudio se encontraron las ventajas de la estandarización del proceso, como son las mejoras en visualización de datos y la calidad del producto obteniendo (agua).

En este documento se muestra todo el proceso que se requirió para finalmente deducir la red de comunicación entre controladores y computadores de gestión en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI, aquí se hizo una recomendación sobre el tipo de protocolo y la interfaz que se debe utilizar para visualizar todas las variables incluidas en los subprocesos de potabilización de agua.

INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. tiene como objetivo contribuir al bienestar y desarrollo de la comunidad especialmente con la prestación de servicios públicos tales como la potabilización de agua comprometidos con el entorno, aplicando las nuevas tecnologías. Desde 1931 fueron creadas las empresas municipales de Cali, lo cual fue la base principal para la constitución de la infraestructura urbana que habría de exhibir la ciudad a finales de la segunda guerra mundial, que le permitió atraer el interés de importantes industrias que beneficiaron el área de Cali - Yumbo.

Los avances en las comunicaciones industriales vienen proporcionando al sector industrial la toma de los datos en los procesos y si EMCALI quiere ser una empresa pública ágil, competitiva y orientada al cliente que nos permita convertirnos y mantenernos como la mejor alternativa en el mercado Colombiano y modelo empresarial en América Latina, tendrá que centralizar su información para llevar sus procesos mas normalizados.

El presente trabajo se llevo a cabo en el departamento del Valle del Cauca en la ciudad de Cali, con ayuda de la empresa EMCALI Puerto Mallarino, especialmente con el departamento instrumentación. Por lo que se realizó un método basado en la ingeniería concurrente para la selección de la red de comunicación entre controladores y computadores de gestión, buscando obtener sea confiable, eficaz y eficiente. En la planta de Puerto Mallarino no existe un medio que garantice la adquisición y visualización de variables analíticas implícitas en la potabilización del agua para sus usuarios finales en el centro de control de EMCALI.

Continuando con el estudio se identifican los objetivos específicos que son:

Realizar el estudio del proceso de la potabilización del agua.

Establecer un diagnostico técnico detallado de toda la instrumentación del proceso (mecánica, electrónica, eléctrica hidráulica, neumática).

Implementar el método de ingeniería concurrente para la selección de la red de comunicación.

Generar los diagramas P&ID actualizados del proceso.

Elaborar el manual de usuario para mantenimiento y operación.

1. ESTUDIO DEL PROCESO DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

1.1. INVESTIGACIÓN TEÓRICA SOBRE POTABILIZACIÓN DE AGUA

El agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible). Al mejorar el acceso a agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la salubridad del agua potable sea mayor posible.

El agua de bebida salubre (agua potable), según se define en las guías, no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes sensibilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos.

El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal. Las guías son aplicables al agua envasada y al hielo destinado al consumo humano. No obstante, puede necesitarse agua de mayor calidad para algunos fines especiales, como la diálisis renal y la limpieza de lentes de contacto, y para determinados usos farmacéuticos y de producción de alimentos. Puede ser preciso que las personas con inmunodeficiencia grave tomen precauciones adicionales, como hervir el agua, debido a su sensibilidad a microorganismos cuya presencia en el agua de bebida normalmente no sería preocupante. Las guías pueden no ser adecuadas para la protección de la vida acuática o para los usos del agua en algunas industrias.

1.1.1. PH. El PH es una medida de acidez o alcalinidad del agua con compuestos químicos disueltos. Su expresión viene dada por el algoritmo de la inversa de la concentración del log h expresada en moles por litro. Ver ecuación 1.

$$pH = \log \left[\frac{1}{[H^+]} \right] \quad \text{Ecuación 1.}$$

Señalemos que el agua pura neutra tiene una concentración de Ion hidrogeno de 10^{-7} moles por litro. Luego el pH será la ecuación 2.

$$pH = \log \left[\frac{1}{[10^{-7}]} \right] = 7 \quad \text{Ecuación 2.}$$

Una disolución ácida tiene mayor concentración de Ión hidrógeno que el agua pura y por lo tanto su pH será menor que 7. Una disolución básica le ocurre a la inversa y su pH será mayor de 7. Las medidas prácticas de pH se encuentran entre los valores 0 y 14. En la siguiente tabla se muestra las concentraciones de varios tipos de soluciones con su pH correspondiente. Ver tabla 1.

Tabla 1. Valores de PH de varias soluciones

ph	Concentración H ⁺ (mols/litro)	Concentración OH ⁺ (mols/litro)	Ph de alimentos comunes	Ph de alimentos comunes
0	1	0.000000000000001		Acido sulfúrico
1	0.1	0.00000000000001		Acido hidroclórico
2	0.01	0.00000000000001	Jugo de limón	
3	0.001	0.0000000000001	Jugo de naranja	
4	0.0001	0.000000000001	cerveza	
5	0.00001	0.00000000001	queso	
6	0.000001	0.000000001	leche	
7	0.0000001	0.0000001	Agua pura	
8	0.00000001	0.000001	Huevos blandos	
9	0.000000001	0.00001		Acetato de potasio
10	0.0000000001	0.0001	bórax	
11	0.00000000001	0.001	magnesia	
12	0.000000000001	0.01		
13	0.0000000000001	0.1		
14	0.00000000000001	1		

Fuente: CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. Madrid: Marcombo, 1979. p. 223.

1.1.2. Color. Es la presencia en el agua de partículas de tamaño coloidal y de naturaleza química inorgánica y orgánica. En general, la medición del color a las muestras se le determina con comparación directa con estándares preparados con diferentes disoluciones, contenidos en tubos de comparación de color llamados comúnmente tubos de nessler.

1.1.3. Coloide. Es un material suspendido en el agua, que por su tamaño se comporta como una solución verdadera (material en suspensión tan pequeño que parece disuelto).este puede ser de origen orgánico (macromoléculas de origen vegetal) u orgánico (óxido de hierro o manganeso).

1.1.4. Turbiedad. La turbiedad esta relacionada con la cantidad de partículas, la turbiedad caracteriza el aspecto del agua, indica la presencia de partículas sólidas, que pueden ser inorgánicas u orgánicas de diferentes tamaños, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, algas o acrecimientos bacterianos. Se puede determinar bajo fenómenos ópticos; es decir la cantidad de luz transmitida reflejada o dispersa por una muestra de agua. Las unidades en la que se expresa la turbiedad cuando ha sido

determinada por el método nefolométrico son las unidades nefolométricas de turbiedad (NTU). una turbiedad mayor a la de 5 NTU es perceptible para el consumo humano.

1.1.5. Olor y sabor. Estas características son de determinaciones organolépticas y sugestivas, para las cuales no hay instrumentos que lo puedan medir. Estos parámetros tienen un interés evidente en los consumidores ya que se pueden sentir (el agua con un PH bajo tiene un mal sabor).

1.1.6. Sólidos disueltos. Son sólidos que por su tamaño, son enmascarados por el agua (se miden en partículas por millón-ppm).

1.1.7. Sólidos en suspensión. Son residuos que pueden ser retenidos con el uso de filtros. Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión del suelo de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. La mayoría de partículas en suspensión poseen descargas, las cuales se repelan unas a otras y por ende se mantienen en suspensión.

1.1.8. Dureza. La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonato y bicarbonato) y se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituyen un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Esta cantidad de sales afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con agua y representa una serie de problemas de incrustación en equipo industrial y doméstico, además resulta nociva para el consumo humano. De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua, esta puede clasificarse en niveles de dureza, en la siguiente tabla se indica las cantidades de sales. Ver tabla 2.

Tabla 2. Niveles de dureza

<i>Denominación</i>	ppm de CaCO₃
Muy suaves	0-15
Suaves	16-75
Medias	76-150
Duras	150-300
Muy duras	Mayor a 300

Fuente: Catarina [en línea]: México: Universidad ameritas, 2007. [Consultado 02 de Agosto de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.edu/UA/universidad/ameritas.com.mx>

1.1.9. Alcalinidad. Definimos alcalinidad como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad de estar también presentes. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados.

1.1.10. Conductividad. Agua pura es un buen conductor de la electricidad. El agua destilada ordinaria en equilibrio con dióxido de carbono en el aire tiene una conductividad aproximadamente de $10 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (20 dS/m). Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones. De tal manera, que la conductividad cuando el agua disuelve compuestos iónicos.

1.1.11. Nitratos. El nitrato es un compuesto inorgánico formado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO_3 . El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO_2).

1.2. NORMATIVIDAD DEL PROCESO

1.2.1. Marco legal. La norma legal que rige el proceso de potabilización del agua en Colombia, es el Decreto 1575 de 2007, que expidió el ministerio de salud. A nivel intencional se siguen los parámetros entregados por la OMS (organización mundial de salud) sobre la calidad del agua potable. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Características físicas. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación. Ver tabla 3.

Valores admisibles en las características Físicas del agua. Ver tabla 3.

Tabla 3. Características Físicas del agua.

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente: COLOMBIA.. Decreto 1575 DE 2007 (Mayo 9). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano [en línea]. Bogotá D.C.: Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2007 [Consultado 20 de agosto de 2008]. Disponible en internet:

http://basedoc.superservicios.gov.co/basedoc/decreto_nacional.shtml?x=63315

Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. Ver tabla 4.

Tabla 4. Características químicas adversas a la salud.

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN-	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente: COLOMBIA.. Decreto 1575 DE 2007 (Mayo 9). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano [en línea]. Bogotá D.C.: Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2007 [Consultado 20 de agosto de 2008]. Disponible en internet:

http://basedoc.superservicios.gov.co/basedoc/decreto_nacional.shtml?x=63315

1.3. INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DEL AGUA

1.3.1. Captación. En la bocatoma se produce la captación de agua cruda para el proceso. Es una captación de tipo lateral cuyo diseño y construcción fueron hechos para captar el caudal nominal de la planta (11.2 m³/seg.). La captación anterior puede lograrse con el nivel de agua mínimo de operación del Río Cauca el cual se encuentra en la cota (952,5 metros).

1.3.2. Desarenador. Se busca que materiales de gran masa como piedras, arena, arenilla sean sedimentadas, evitando la obstrucción y el deterioro por rozamiento de las tuberías que transportan el agua.

1.3.3. Carbón activado. El carbón activado, o carbón activo, es un material de carbón poroso. Un material carbonizado que se ha sometido, a reacción con gases oxidantes (como CO_2 o aire), o con vapor de agua; o bien a un tratamiento con adición de productos químicos como el H_3PO_4 , durante (o después) de un proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad. Los carbones activados poseen una capacidad de adsorción elevada y se utilizan para la purificación de líquidos, elimina olores desagradables, mejora el sabor, elimina algas y otros compuestos orgánicos.

1.3.4. Precloración. Las aguas que contengan inicialmente cloro tienen un pH mayor (algo alcalino), que es antagonista para la formación de coloides. Entonces sí realizar una precloración evita (no es que lo elimine, lo evita) la formación de materiales coloidales durante el almacenamiento de agua.

1.3.5. Sulfato de aluminio. El sulfato de aluminio es una sal de fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, es sólido y blanco. Es ampliamente usada en la industria, comúnmente como floculante en la purificación de agua potable, este proceso hace un aporte importante para el mejoramiento turbidez, color, dureza del agua, y la eliminación de hierro, manganeso y otros patógenos.

1.3.6. Coagulación y floculación. La coagulación y Floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que su peso específico supere a la del agua puedan precipitar.

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre 4 partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, una flor suficientemente grande y pesada como para sedimentar.

1.3.7. Filtración rápida. La filtración es llevada a cabo por veinticuatro (24) filtros rápidos de flujo descendente, con lecho múltiple de grava, arena y antracita. Dichos filtros trabajarán a rata declinante, es decir que el caudal

filtrado por un filtro, irá disminuyendo a medida que dicho filtro se vaya colmatando. Lo anterior haría pensar que el caudal total de la planta iría disminuyendo, sin embargo, eso no sucede, pues el caudal que se dejaría de filtrar en un filtro colmatado se distribuye en el resto de los filtros, algunos de los cuales deben estar recién lavados y funcionarán a su máxima capacidad.

1.4. PROCESO DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN EMCALI (PLANTA DE PUERTO MALLARINO)

1.4.1. Descripción del proceso. La bocatoma y las estructuras para la bomba de agua cruda se diseñaron para asegurar un flujo adecuado de entrada a la planta dentro de un intervalo de variaciones en las elevaciones del río cauca y para proteger las bombas de las basuras grandes que arrastra el río. Ver figura 1 y 2.

Figura 1. Estructura de agua cruda.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Figura 2. Bomba de eje vertical.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Como su nombre lo dice son rejas localizadas en el sitio donde el agua entra a la bocatoma y tiene como fin impedir el paso de material grueso. Ver figura 3.

Figura 3. Rejas



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Las rejillas y los desarenadores permiten la remoción de basuras pequeñas y de arena respectivamente, evitando así la sedimentación de material pesado en los conductos y en los reactores. Ver figura 4.

Figura 4. Desarenadores



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

En los reactores, los cuales operan con recirculación de lodos y en los que se realiza la floculación y la sedimentación del agua. Ver figura 5.

Figura 5. Reactores



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

El proceso de filtración se lleva a cabo en 24 filtros de lecho filtrante mixto (arena y antracita) con un área total de filtración de 2578 m² el sistema ideado para de la filtración, rata declinante, elimina casi todos los accesorios y equipos que convencionalmente se han usado para el lavado de los filtros. Ver figura 6.

Figura 6. Filtros



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Continuando con el proceso sigue el tanque de contacto del cloro El principio de el, es el incremento del tiempo de contacto de cloro con el agua, condición que garantiza una mejor desinfección y por consiguiente una mejor calidad bacteriológica del producto. Ver figura 7.

Figura 7. Tanque de contacto del cloro.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Finalmente se tiene la estación de bombeo de agua tratada hacia la ciudad, cuya obra civil fue hecha para la capacidad futura de tratamiento, aunque solo las bombas Correspondiente a la primera etapa se instalaron. Ver figura 8.

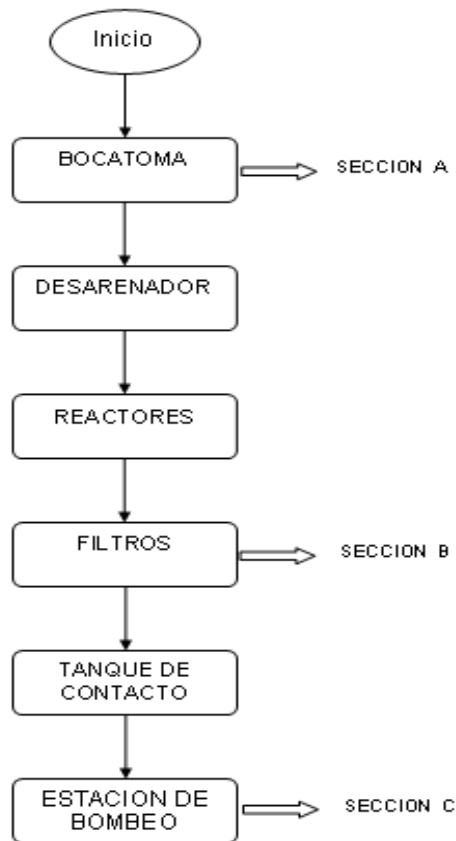
Figura 8. Estación de bombeo de agua tratada.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

1.4.2. Diagrama de flujo del proceso. Ver figura 9.

Figura 9. Flujo del proceso.



1.5. CONCLUSION DEL CAPITULO 1

Con el estudio teórico del proceso se puede concluir que la potabilización de agua es uno de los procesos más complejos en el que interactúan numerosas variables internas como externas. En el proceso están incluidas las normas que exige el ministerio de salud en Colombia y que se cumplen a cabalidad para excelentes resultados.

2. ESTABLECER UN DIAGNOSTICO TÉCNICO DETALLADO DE TODA LA INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (MECÁNICA, ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA HIDRÁULICA, NEUMÁTICA)

2.1. ESTUDIO DETALLADO DEL BOCATOMA

2.1.1. Parte eléctrica. Centro de control de motores de 4160 V de las bombas de agua cruda.

- Paneles de control de los acopladores magnéticos.
- Transformador para alumbrado.

2.1.2. Parte mecánica.

- 1 rastrillo.
- 4 bombas centrífugas de eje vertical y velocidad variable ($0.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ - $1.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ cada una).
- 2 bombas centrífugas a régimen total ($2,6 \text{ m}^3/\text{seg.}$ cada una).

La captación de tipo lateral, el caudal nominal de la planta ($11.2 \text{ m}^3/\text{seg.}$)
Mínimo nivel de del río para la captación es una cota (952,5 metros).

2.1.3. Operación y control del sistema eléctrico. En una interrupción imprevista del sistema eléctrico todos los sistemas salen deservicio, se disparan, de modo que cuando vuelve el fluido eléctrico hay necesidad devolver a accionar los botones para poner a funcionar los equipos. Ver figura 10.

Figura 10. Botinera de equipos



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Para la operación, y en el supuesto que halla fluido eléctrico, lo primero que se debe verificar es la disponibilidad de suficiente agua potable a presión para el sello hidráulico de la bomba, la refrigeración del motor y la lubricación de rodamientos (solo si se operan de entrada las bombas 1,3 y 4). Esta situación es poco probable debido a que normalmente se inicia la bocatoma con las bombas No 5 y/o No 6, que no necesitan lubricación.

La anterior verificación se puede hacer observando la presión indicada en el manómetro que para tal fin tienen instalados los motores; esa presión debe ser de 1 a 3 Kg. por cm². (10-30 m o 14,4- 43,1 PSI). Ver figura 11.

Figura 11. Manómetro ciego.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.1.4. Motores 1, 2, 3, 4. Cada unidad de bombeo está conformada por un motor, una bomba y un acoplador magnético. En el caso de la bomba número dos se tiene un variador de frecuencia en cambio de un acoplador magnético. El motor es trifásico de 450 HP y 590 RPM, funciona con un voltaje de 4160 V y una corriente de 65 A y es refrigerado por aire.

Antes y durante la operación de dichos motores se recomienda estar comprobando si se presenta desequilibrio en el voltaje de carga, el cual puede variar entre 3744 V y 4576 V. Esta comprobación se hace observando el voltímetro. El objeto de la anterior comprobación es poder sacar oportunamente de servicio los motores cuando se presentan variaciones fuera de los límites permitidos; claro está que lo anterior es una seguridad adicional que se toma en caso de fallar los sistemas de protección (Relee) de los motores.

Además de los mandos eléctricos de los motores descritos con anterioridad, cada motor consta de:

- Dos termómetros para la medición de la temperatura de los cojinetes superior e inferior del motor, la cual tiene un límite máximo de 80 °C considerándose como temperatura normal la inferior a 45 °C. Ver figura 12.

Figura 12. Termómetros para la medición de la temperatura de los cojinetes superior e inferior



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

- Un termómetro de regulación automática de tipo oscilación, cuyos sensores van empotrados en el arrollamiento en tres puntos equidistantes de la periferia del núcleo de hierro del motor. La subida de temperatura del arrollamiento estatórico se considerará normal si no excede de 120 °C.
- Cada motor también tiene un botón para únicamente paradas de emergencia.
- Como precauciones de inspección diaria, se deberá estar atento a detectar cualquier ruido anormal del motor, el cual se presentaría principalmente en los rodamientos.

2.1.5. Acoplador Magnético. Parte complementaria del motor es el acoplador magnético EC, cuya función es la de poder operar las bombas a velocidades deseadas y por tanto obtener caudales deseados, es decir que el conjunto funciona como un sistema de flujo variable.

2.1.6. Protecciones para los acoples. Termómetro para medir la temperatura del agua de escape, o sea aquella que sirvió para la refrigeración. Si la temperatura excede de un determinado valor, el motor será desconectado automáticamente. Ver figura 13.

Figura 13. Termómetros para la medición del agua de escape.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Puesto que en los casos anteriores se estaría dependiendo de elementos que pueden fallar en el sentido de no enviar la señal de parada, se hace indispensable estar observando los valores indicados tanto para la presión de agua como para la temperatura del agua que ha hecho la refrigeración.

La temperatura límite indicada en el termómetro son 75 °C, es decir, que durante la operación la temperatura del agua de refrigeración no debe ser superior a 75 °C, la temperatura normal debe ser inferior a 45 °C.

Termómetros para medir la temperatura de los rodamientos localizados interna y externamente tanto en el lado del motor como en el lado de la bomba. La temperatura límite indicada en el termómetro son 80 °C, sin embargo la temperatura normal debe ser inferior de 45 °C.

2.1.7. Bomba. La bomba es de flujo mixto, de una etapa y eje vertical, para pozo seco, con una capacidad cada una de 1.5 m³/s y una cabeza de 15.25m. Ver figura 14

Figura 14. La bomba de flujo mixto de una etapa y eje vertical.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Figura 15. Controladores de la bomba



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Tal como se había indicado antes, gracias al sistema de velocidades variables del motor y/o variador de frecuencia, la bomba puede regular cantidades de flujo opcionales con solo variar el número de RPM del acople magnético y/o Hz en el variador de frecuencia.

2.2. STUDIO DETALLADO DEL DESARENADOR

El paso del agua hasta los desarenadores se produce primero a través de un sifón de 36" de diámetro, uno para cada bomba, cuya principal función es la de proteger la bomba contra el golpe de ariete y eliminar la válvula de cheque y de mariposa que en otras condiciones sería necesario usar. Lógicamente para que haya flujo el codo del sifón (cota 967,32) debe estar más alto que el nivel máximo del agua en el desarenador (cota 966,50). Ver figura 16.

Figura 16. Válvulas.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Los sifones entregan el agua a un conducto común, para posteriormente llegar hasta el desarenador a través de una tubería de 66". Sobre ese conducto común se han instalado dos válvulas de ventosa para extraer el aire que continuamente se estará atrapando a través de los sifones.

El sistema de desarenado está conformado por: cuatro rejillas de disco par remoción de basuras, los desarenadores propiamente dichos están constituidas por cuatro tolvas y por último las bombas desarenadoras. Ver figura 17.

Figura 17. Rejillas de disco.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.2.1. Operación del desarenador. La disposición del sistema de desarenación permite hacer una distribución uniforme del agua a través de las cuatro tolvas que conforman el desarenador, pasando inicialmente a través del equipo de remoción de basuras. La operación normal de los desarenadores (cuatro tolvas y $3,0 \text{ m}^3/\text{seg}$) permite la remoción de partículas de arena hasta de 0.06 mm . Ver figura 18.

Figura 18. Tolvas.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.2.2. Rejillas para remoción de basuras. El sistema de remoción de basuras está conformado por cuatro rejillas de disco tipo giratorio de $4,9 \text{ m}$ de diámetro con una malla de acero inoxidable con aberturas de $5/16"$. Del diámetro total del disco, solo 2.3 m trabajan constantemente sumergidos. La capacidad de cada rejilla es de $1,25 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Cada rejilla está dotada de un sistema de lavado a presión conformado por boquillas que suministran un caudal de $3.9 - 4,7 \text{ L}$ con una presión de $1 \text{ Kg.}/\text{cm}^2$ (14.34 PSI) lo cual desprende la basura adherida a la malla de la rejilla para posterior evacuación y disposición final.

2.2.3. Sistema de desagüe. El sistema de evacuación de material desarenado, puede hacerse por gravedad o por bombeo. Para hacer posible lo anterior, cada desarenador está provisto en su fondo de una tubería en anillo, perforada, para la aplicación de agua a presión cuyo objetivo es mantener en suspensión las partículas que hayan sedimentado para así facilitar su salida. Ver figura 19.

Figura 19. Tubería en anillo.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.2.4. Descarga del desagüe. Cuando por motivos de operación normal o suspensión de la planta el desagüe haya de cerrarse, deberá tenerse cuidado, antes de volverlo a abrir, de inyectarle agua a presión para eliminar cualquier taponamiento que se presente, es decir, la secuencia de operación sería:

- Inyección de agua a presión al desagüe.
- Aplicación de agua de agitación.
- Apertura de la válvula de desagüe.

El desagüe por medio de las bombas, llamadas desarenadoras, sólo será necesario cuando se presenten taponamientos en las descargas.

Cuando se haya logrado el destaponamiento de la tubería, se apagará la o las Bombas y se procederá a introducir de nuevo agua a presión a través de la bomba, con el fin de dejarla libre de barro. Hecho lo anterior se procede a cerrar las válvulas de impulsión y de succión. Ver figura 20.

Figura 20. Sistema de desagüe.



(A) Manómetro

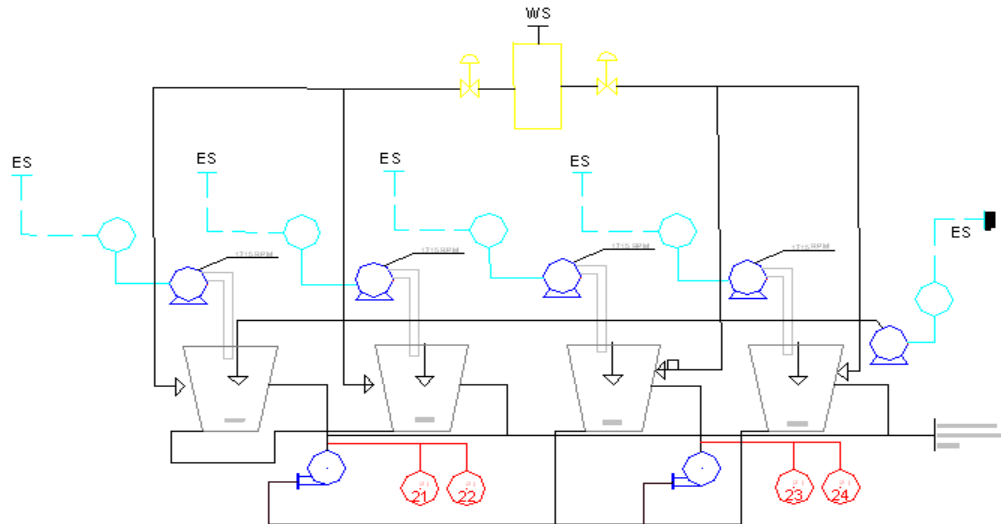
(B) Motor

(C) Tablero de control

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

A continuación se muestra el diagrama “P&ID” del desarenador ver figura 21.

Figura 21. “P&ID” del desarenador.



2.3. ESTUDIO DETALLADO DEL REACTORES

El flujo de agua sale de los desarenadores y pasa a los reactores, en este trayecto se han implementado medidas necesarias para la aplicación de cloro y cal primaria, lo cual se describe en más detalles en la dosificación química. También en ese trayecto se hace la dosificación del coagulante, más concretamente en el sitio donde se distribuyen los caudales, cadica 1 y cadica 2 hacia los 4 reactores aprovechando los vertederos de medición para hacer una mezcla instantánea y uniforme. Ver figura 22.

Figura 22. Reactores.



(A) Reactor



(B) Canaletas

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

El sitio donde se distribuyen los caudales hacia los reactores se ha identificado como cadica (cámara distribuidora de caudales), cadica 1 (reactores a y b) cadica 2 (reactores b y c) y en él se encuentran dos vertederos de cresta delgada, uno para cada reactor, que permiten la medición del caudal del agua cruda de acuerdo con las variaciones de la lámina de agua sobre la cresta de los mismos.

Los reactores son unidades de tratamiento de aguas del tipo contacto de sólidos y recirculación de fangos que combina en un solo tanque la floculación, recirculación de lodos y sedimentación. Cada uno tiene un diámetro de 50 m, una altura de 6,7 m y un volumen de 11.000 m³.

En cadica, se aprovechan los dos vertederos de cresta delgada para que generen un gradiente de velocidad elevado de modo que al momento de aplicar el coagulante al agua cruda, sucede en fracciones de segundo el proceso químico de la coagulación.

Después de adicionado el coagulante al agua cruda, por medio de sendas tuberías de 54" de diámetro llega a los reactores por la parte inferior del tanque hasta el tubo central llamado cilindro de recirculación, donde se lleva acabo una reacción en presencia del floc formado previamente. (El agua mezclada sale de ese tubo central a través de 4 aberturas rectangulares de 0.46 x 1.0 Mts). El coagulante y el lodo recirculado son perfectamente mezclados con el agua cruda que va llegando, por medio de un floculador (Turbina, tiempo de retención 20' a 30').

Una vez que se ha producido la mezcla y contacto del agua y los lodos, ésta pasa a una zona de reacción secundaria en el cono de reacción, donde se completa la floculación en presencia de grandes cantidades de floc y sólidos recirculados, lo cual asegura una precipitación completa del floc. Ver figura 23.

Figura 23. Floc.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

La cantidad de lodos en recirculación puede aumentarse o disminuirse a voluntad, aumentando o disminuyendo la velocidad de rotación del floculador (turbina) y/o regulando el nivel de lodos del decantador por medio de las purgas de lodos. Ver figura 24.

Figura 24. Control de velocidad motor turbina a y b.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Cada reactor está equipado, además con el sistema de arrastralodos encargados de llevar hacia el centro los lodos sedimentados para facilitar su extracción, la cual, como se dijo antes, puede controlarse mediante temporizadores que operan las válvulas automáticas de descarga. También consta cada reactor de cuatro tuberías para tomar muestras de agua a diferentes alturas y en el centro del cono de reacción. Ver figura 25.

Figura 25. Válvulas automáticas de descarga.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.3.1. Operación. En la operación de los reactores se presentan dos casos:

- Cuando él o los reactores están vacíos (operación inicial o después de trabajos de mantenimiento).
- Cuando se ha suspendido el flujo de agua pero no se ha vaciado (parada normal por buenos niveles en los tanques de almacenamiento.).

En el primer caso, con los reactores vacíos se deben dar los siguientes pasos para la iniciación de la operación:

- Obviamente el proceso se debe iniciar con un bajo caudal, condición que hace la situación más sencilla de manejar.

Previa la iniciación del bombeo de agua cruda se ha debido establecer la dosis óptima de coagulante, bien sea teniendo informaciones anteriores o porque se haga una prueba de jarras. Simultáneamente durante la iniciación y una vez llegue muestra de agua cruda al laboratorio se repetirán los ensayos de jarras para establecer la mejor dosis de coagulante y poderla aplicar al agua cruda que va llegando, por medio de los dosificadores los cuales describiremos en detalles más adelante. Ver figura 26.

Figura 26. Prueba de jarras.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

- Con el fin de obtener rápidamente un lecho de lodos las descargas de los mismos deben permanecer cerradas hasta que los lodos lleguen a su nivel de operación, lo cual se determina con las tuberías toma muestra y la concentración que se alcance en la zona de floculación.
- Una vez que el agua haya alcanzado el nivel del floculador (Turbina) se debe operar aquel, para lo cual previamente se ha debido energizar el sistema del floculador a usar en el centro de control general (Subestación No 2) mediante la operación de la perilla indicada.

- A medida que los sólidos se acumulan en el cono de reacción, se va formando un lecho de lodos cuyo nivel puede alcanzar a llegar al borde inferior del cono o estar por debajo dependiendo de la calidad del agua que se esté obteniendo.
- Una vez se ha formado el lecho de lodos pueden operarse, por medio de los temporizadores, las purgas de modo que inicialmente se ensaye con una descarga de 10 segundos cada 15 minutos variando la secuencia anterior cuando se note un exceso o déficit de lodos.

2.3.2. Control de parámetros de tratamiento. En el proceso de operación de los reactores para clarificar agua, deben llevarse a cabo ciertos controles que garanticen un correcto tratamiento de la misma puesto que las unidades de tratamiento son del tipo .Contacto de Sólidos. Los controles que se hacen tienen que ver más que todo con el adecuado almacenamiento de lodos que aseguren una disponibilidad de fangos para recirculación. Esa disponibilidad de lodos se puede controlar así:

- Determinando el porcentaje de sólidos en el cono de reacción.

La mejor comprobación de la disponibilidad de lodos se hace determinando el porcentaje de sólidos en el cono de reacción. El mejor porcentaje puede variar normalmente entre el 4% y el 8% en volumen después de cinco minutos de sedimentación, Para los reactores A y B, y entre 2% y 5% para los reactores C y D. Es decir, que si se pone una muestra de esa agua en un probeta graduado de 100 mL al cabo de 5 minutos debe haber sedimentado entre 4 y 8 mL para reactores A y B , y entre 2 y 5 mL para C y D , dependiendo de la densidad del lodo y de la rata de recirculación.

Por último conviene advertir que el floculador no debe ser operado continuamente por encima del 75% de la velocidad máxima (2,25 rpm).

- Determinando el nivel de lodos en el reactor.

Tal como se había indicado anteriormente, el nivel óptimo del lecho puede ser el borde inferior del cono de reacción o también 0.60 m o más centímetros por encima de ese borde. Sin embargo, el mejor nivel se determinará para cada tipo de agua durante el proceso normal de operación teniendo en cuenta la calidad del agua clarificada. El nivel de los lodos puede ajustarse variando la velocidad del floculador, la rata de flujo de agua cruda y/o controlando las purgas de lodos.

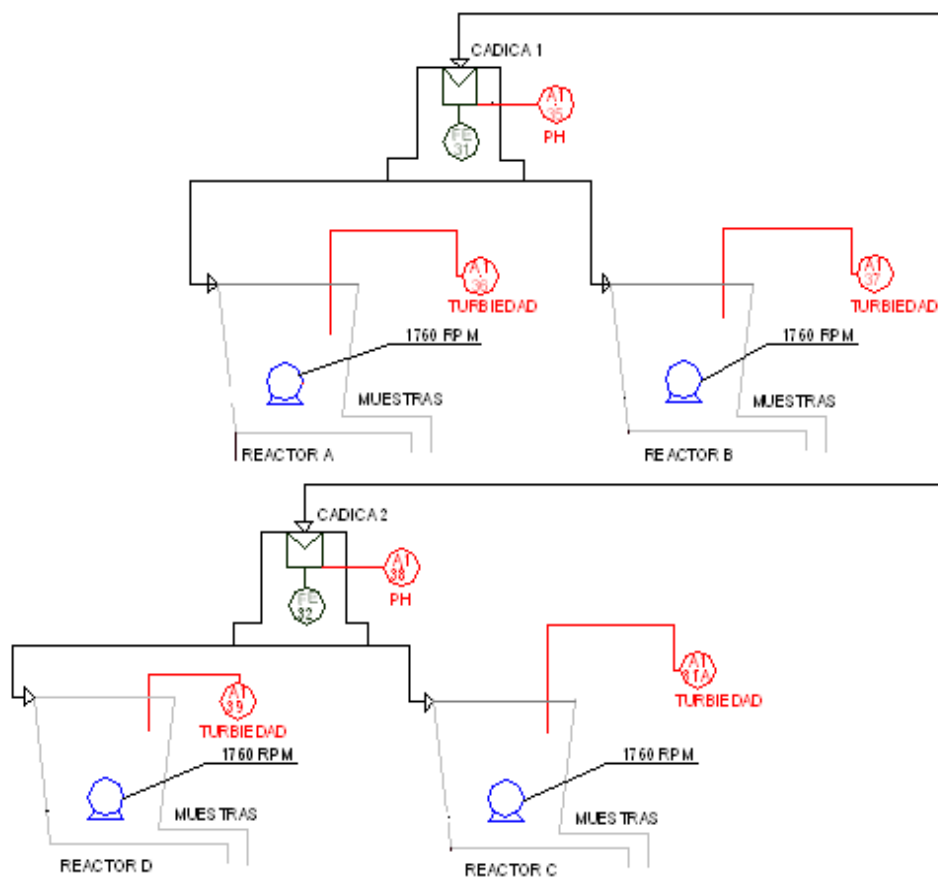
Regularmente se deben hacer chequear a fin de determinar la altura del lecho de fangos. Si el nivel de lodos aumenta o disminuye más del máximo o mínimo establecido, se debe regular la purga de lodos.

El sistema de alarma comienza a funcionar cuando la sobrecarga es del 50% y suspende el motor cuando alcanza un valor del 90%; en base a lo anterior, valores iguales o superiores al 50% deben considerarse anormales.

Puesto que durante la operación y más concretamente durante el control del tratamiento de agua, puede presentarse el caso de que uno de los reactores esté recibiendo más o menos coagulante que el otro. (Esto puede detectarse determinando los valores pH de coagulación.

A continuación se mostrara el plano “P&ID” del reactor ver figura 27.

Figura 27. “P&ID” reactor.



2.4. ESTUDIO DETALLADO DE LOS FILTROS

El agua clarificada de cada reactor es llevada, por medio del canal perimetral, a cámaras de carga desde donde sale una tubería de 66 pulgadas diámetro en el caso de los reactores B, C, y D y 60 pulgadas de diámetro en el caso del reactor A para entregar ambas en el canal de distribución de los filtros.

La filtración es llevada a cabo por veinticuatro (24) filtros rápidos de flujo descendente, con lecho múltiple de grava, arena y antracita. Dichos filtros trabajarán a rata declinante, es decir que el caudal filtrado por un filtro, irá disminuyendo a medida que dicho filtro se vaya colmatando. Lo anterior haría pensar que el caudal total de la planta iría disminuyendo, sin embargo, eso no sucede, pues el caudal que se dejaría de filtrar en un filtro colmatado se distribuye en el resto de los filtros, algunos de los cuales deben estar recién lavados y funcionarán a su máxima capacidad. Ver figura 28.

Figura 28. Filtros.



(A) Arena Y Antracita.

(B) filtro 1

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

De lo anterior se deduce, la importancia y el cuidado que deberá tenerse con este sistema de filtración.

El material filtrante de cada filtro está conformado así:

- Grava gradada de $\frac{3}{4}$ pulgadas a $\frac{1}{4}$ pulgadas con un espesor de 0.33 m.
- Arena de tamaño efectivo 0.45 mm y coeficiente de uniformidad menor o igual que 1.6, con un espesor de 0,30 m. Gravedad específica 2.5, 2.6.
- Antracita de tamaño efectivo entre 1,0 y 1,2 mm y coeficiente de uniformidad de 1.1 ; con un espesor de 0,30 m. Gravedad específica 1.4, 1.6.

El fondo falso de cada filtro, el cual además sirve para distribución agua de lavado, sirve de soporte para el material filtrante, está constituido por bloques de ladrillo vitrificado llamado fondo Leopold.

El área de filtración de cada filtro es de 107,46 m² por tanto el área total de filtración de estas dos etapas de la planta es de 2579 m².

De acuerdo con lo expuesto anteriormente y con el caudal que puede tratar la planta, se tiene que la rata de filtración será de $201 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ /día}$ ($2,3 \text{ Litros/seg./m}^2$) para caudal nominal de $6,0 \text{ m}^3/\text{seg.}$ O de $301 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ (3.5 L/seg./m^2) cuando la planta trabaja recargada ($9,0 \text{ m}^3/\text{seg.}$).

Cada filtro está alimentado por una tubería de 24 pulgadas con su respectiva válvula de mariposa y placa de orificio para medición de caudales. El desagüe de cada uno, se hace a través de una tubería de 30 pulgadas de diámetro con su válvula de mariposa y placa de orificio para medición de caudales. El desagüe de cada uno, se hace manualmente. Además de lo anterior, cada filtro consta del sistema de lavado superficial con agua a presión alimentada por una tubería de 8 pulgadas. Ver figura 29.

Figura 29. Válvulas.



(A) Válvulas para el lavado.

(B) válvula

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.4.1. Operación. Tal como se había indicado inicialmente los filtros trabajarán a rata declinante y el control de la rata máxima de filtración se hace después del filtro por medio de un vertedero de salida; la altura de dicho vertedero se fijó precisamente para permitir solamente la máxima rata de 375 L/seg./m^2 .

A medida que la pérdida de carga aumenta, debido a la colmatación del filtro, el nivel del agua en el filtro tiende a subir y la velocidad de filtración a decrecer hasta que se llega a la máxima altura de agua permisible por la hidráulica del sistema, pues el caudal que se va dejando de filtrar por el filtro, será redistribuido entre otros filtros que estén recién lavados, de modo que esa variación no será muy grande. Cuando el nivel alcanza la máxima altura permitida, ya hay necesidad de lavar el filtro, para lo cual se cierra la válvula de entrada de agua clarificada (20 pulgadas) y se abre la válvula de desagüe (30 pulgadas), con lo cual el nivel del filtro que se quiere lavar desciende hasta

alcanzar el borde de la canaleta de desagüe. Durante este proceso, como el nivel del vertedero de la salida en el conducto común permanece constante alimentado por los otros filtros, el agua ya filtrada se devuelve a través del fondo de drenaje y asciende por el lecho filtrante produciéndose el lavado del filtro. Ver figura 30.

Figura 30. Válvula para aislar filtros.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

La situación descrita es la que se presenta normalmente en el proceso de tratamiento, cuando han transcurrido las 72 horas pero también se pueden presentar dos situaciones que son poco frecuentes:

- El filtro se colmata rápidamente (mucho antes de las 72 horas), porque el afluente presenta turbiedad más alta de lo normal.
- Al realizar control a la calidad del efluente (turbiedad, color y cloro residual) y se observa que la turbiedad es alta con respecto al afluente, indica que el lecho está desacomodado y por lo tanto requiere lavado.

Para que el lavado de un filtro sea posible, el caudal producido por el resto de filtros debe ser por lo menos igual al necesario para lavar dicha unidad, pues de lo contrario el nivel en el conducto común descendería y la presión de lavado (diferencia de altura entre el nivel del agua en el conducto común y el borde de la canaleta de desagüe), podría ser insuficiente. En razón a lo anterior, la operación de la planta de tratamiento no podrá ser inferior a $3.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$, pues a esta tasa mínima de producción toda el agua sería necesaria para lavar un filtro. Si esta situación se llega a presentar significaría que durante el lavado de un filtro habría que suspender el bombeo a la ciudad para luego volver a iniciarlo lo cual no es conveniente para ese equipo de bombeo. La situación descrita anteriormente se puede obviar si se acumula suficiente agua entre el tanque de contacto de cloro y la cisterna (entre 4m y 4, 5m de altura).

Teniendo en cuenta lo anterior será indispensable trazar un programa de lavado de filtros a fin de que ello se haga en la forma más racional posible.

La solución a la situación anterior se previó dejando una alimentación (12 pulgadas) de agua tratada al canal común con lo cual, en el caso de una colmatación general, se podrá suministrar agua para lavar un filtro y así sucesivamente los demás hasta controlar la situación. Claro está que la situación dada sólo facilita el inicio del control de la situación, mas no soluciona inmediatamente el problema, pues pasarán varias horas antes de poder volver a bombear agua a la ciudad.

2.4.2. Control de parámetros de filtración. Puesto que el sistema de filtración, tal como se ha descrito, no dispone de elementos de medida directos para determinar las ratas de filtración, la rata de lavado y las pérdidas, serán necesarias nuevamente, periódicamente, esos valores en el filtro piloto instalado para tal fin (el filtro piloto en la actualidad se encuentra en des uso y requiere acondicionarse nuevamente), lo cual implicará posteriores ajustes a los parámetros fijados inicialmente.

Las carreras de filtración actualmente son de 72 horas (un tiempo menor implicaría un consumo excesivo de agua) es necesario estar controlando en cada filtro la turbiedad y el cloro residual tanto en el agua a filtrar como en la filtrada; además, como control de la rata de filtración será necesario tomar las lecturas de los sensores de nivel para las primeras 12 unidades, ubicados en la sala de control. Y para las otras 12 unidades (ampliación) esta proyectada la colocación de sensores de nivel.

Teniendo en cuenta que si la carrera de los filtros es de 72 horas, ocho de los Veinticuatro filtros requieren lavado diario, por tanto, si la planta es operada para suministrar una producción constante durante las 24 horas, el lavado de los filtros se deberá programar a través de las 24 horas. Si la planta se opera a una rata mayor durante el día que durante la noche, lógicamente el lavado de los filtros debe ser programado para las horas nocturnas cuando las demandas bajan. Un programa que puede ponerse en práctica sería el de lavar cada 3 horas un filtro con la siguiente secuencia : 1, 13, 7, 19, 2, 14, 8, 20, 3, 15, 9, 21, 4, 16, 10, 22, 5, 17, 23, 6, 18, 24. La duración del lavado será de 10 a 15 minutos imperando ante todo el criterio del Técnico auxiliar y posteriormente con los resultados del filtro piloto si se reactiva.

Durante el proceso de lavado de filtros, se deberá tener muy en cuenta el nivel del agua en la cisterna, pues si el lavado es necesario hacerlo en el momento de estar operando la planta con 4 bombas de agua tratada, es indispensable contar con un volumen de agua almacenado para poder lograr el objetivo, pues de lo contrario sería necesario parar una bomba de agua tratada lo cual no es la mejor solución.

Otro control que se debe tener sobre el momento en que deba lavarse un filtro se puede hacer midiendo la lámina de agua sobre el vertedero será más o menos constante; si esa altura de lámina disminuye se puede pensar que uno de los filtros, el que lleva más tiempo de funcionamiento, ha disminuido su rata de filtración y deberá ser lavado para establecer la altura constante en el vertedero de salida. Resumiendo, la información a tomar para cada filtro es la siguiente:

- Turbiedad de agua clarificada y filtrada. Ver figura 31.
- Cloro residual del agua clarificada y filtrada. Ver figura 31.
- Pérdida de carga, rata de filtración (piezómetro de cada filtro).
- Nivel del agua en el canal de distribución (siempre tendrá un máximo, si se sobrepasa ese valor es por no haber lavado filtros).
- Nivel del agua en cada filtro. Ver figura 31.
- Nivel del agua sobre el vertedero de salida.

Figura 31. Sensores.



(A) Aluminio residual

(B) Cloro residual

(C) Nivel

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Además de los controles rutinarios que se indicaron anteriormente es necesario controlar periódicamente el lecho filtrante propiamente dicho mediante los ensayos que a continuación se describen:

2.4.3. Análisis de las bolas de barro. Puesto que el medio filtrante permite una gran penetración de partículas floculantes hay la tendencia a formarse las bolas de barro que deberán ser eliminadas con el lavado del filtro. Por tanto, al controlar la presencia de bolas de barro lo que se está haciendo es comprobar la efectividad del lavado. Ver tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de bolas de barro.

Porcentaje de las bolas de barro	Calificación
0.0 a 0.1	Excelente
0.1 a 0.2	Muy Bueno
0.2 a 0.5	Bueno
0.5 a 1.0	Regular
1.0 a 2.5	Deficiente
2.5 a 5.0	Malo

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.4.4. Espesor del lecho filtrante. Debido a una excesiva velocidad de lavado la profundidad del medio filtrante, en este caso la antracita, disminuye, por tanto es necesario estar comprobando la altura o espesor de antracita, para lo cual puede tomarse una muestra del lecho en un tubo de vidrio para observar el espesor o midiendo en varios puntos del filtro la altura de la antracita con respecto al vertedero del canal de desagüe, la cual ha de ser de 50 cm.

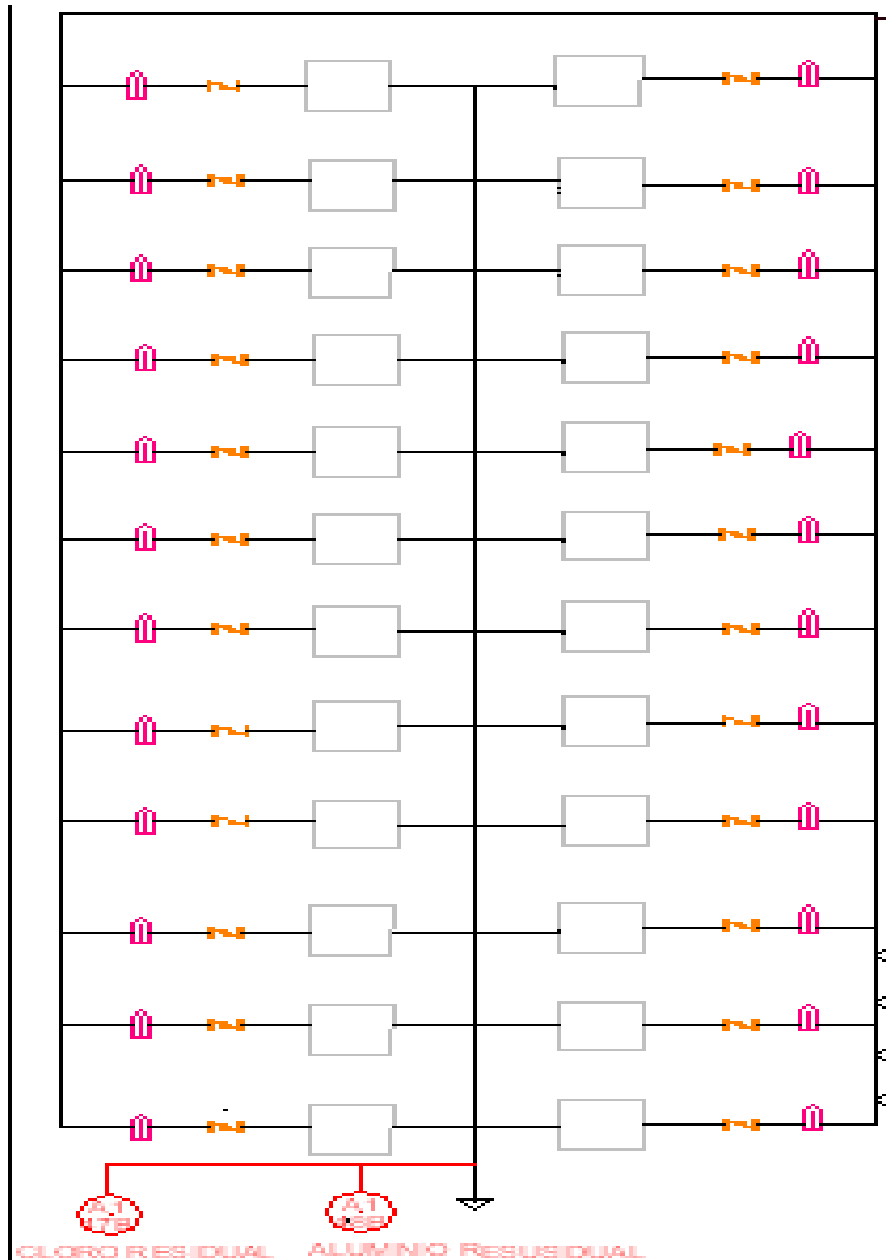
2.4.5. Expansión del lecho filtrante. Uno de los métodos para medir el incremento de la profundidad del lecho debido al flujo ascendente es el colocar una serie de copas en una regla graduada e introducirla en el filtro durante el lavado.

2.4.6. Turbiedad inicial después del lavado. Inmediatamente después de lavado el filtro la turbiedad del efluente es por lo general mucho más alta que más tarde, durante la carrera de filtración; por eso, una prueba a realizar consiste en tomar la turbiedad del agua filtrada durante los primeros 30 minutos así: cada minuto durante los primeros cinco minutos, y cada cinco minutos el resto del tiempo. Estos datos pueden ser graficados. Cuando la turbiedad alta persiste por más de 30 minutos, es señal de que el proceso de filtración no se está realizando correctamente y por tanto será necesario investigar las causas.

2.4.7. Filtro piloto. Puesto que los filtros no permiten, debido a su diseño, hacer mediciones directas de las ratas de filtración, de lavado, de las pérdidas de carga, etc. será necesario establecer esos valores mediante la reactivación del filtro piloto, el cual reproduce muy bien los filtros de la planta. Estas determinaciones, tal como se indicó anteriormente, deberán ser periódicas a fin de controlar la operación de los filtros.

A continuación se mostrara el plano “P&ID” del filtros ver figura 32.

Figura.32 “P&ID” del filtros.



2.5. ESTUDIO DETALLADO DE ELTANQUE DE CONTACTO

El principal de ellos, es el incremento del tiempo de contacto de cloro con el agua, condición que garantiza una mejor desinfección y por consiguiente una mejor calidad bacteriológica del producto.

De acuerdo al caudal de diseño ($6.6 \text{ m}^3/\text{seg}$) y considerando su capacidad de

Almacenamiento (aproximadamente 24.000 m³), incluyendo el tramo de llegada y salida del agua filtrada. Ver figura 33.

Figura 33. Tanque de contacto



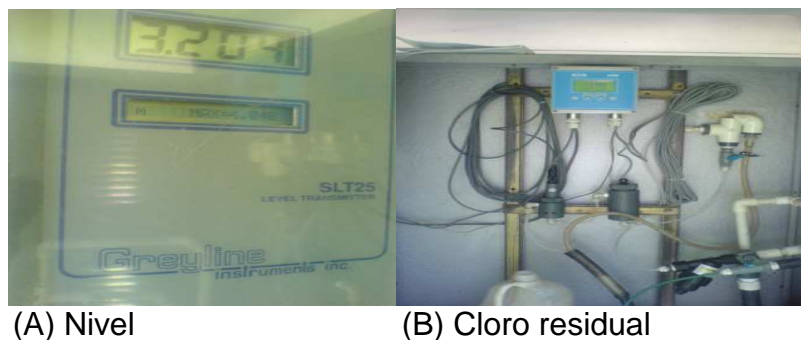
Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Las variaciones de nivel en las cisternas no son tan bruscas, debido a que el volumen aportado por el tanque de contacto, también sirve de almacenamiento, pasando la capacidad de 3.030 m³ a 27.000 m³ aproximadamente.

Al permanecer las cisternas con un nivel más constante, las bombas de agua tratada operan mejor y al tener un nivel de función sin tanta variación, hay economía de energizar en el bombeo.

Adicionalmente, se han instalado un sensor de nivel y cloro residual, con el fin de determinar el nivel trifásico, especialmente en épocas de lluvia. Ver figura 34.

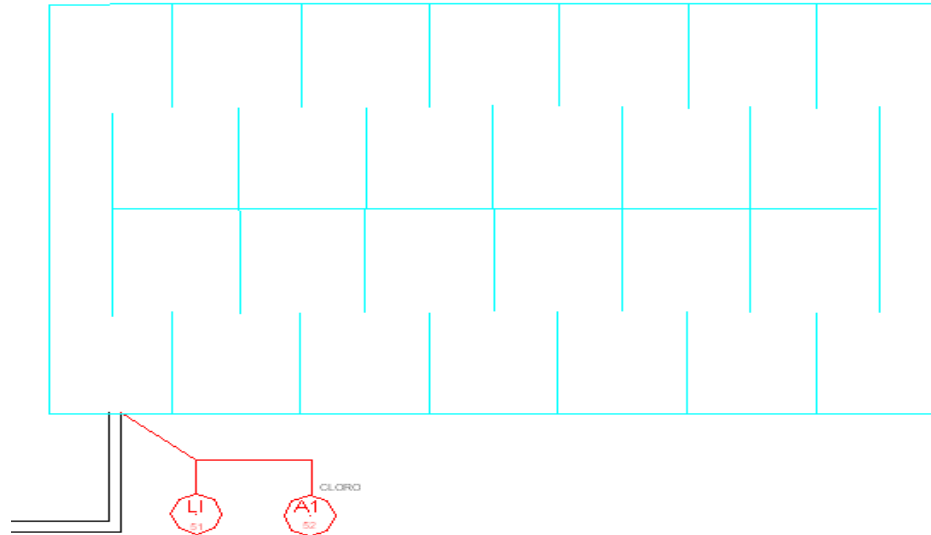
Figura 34. Sensores (B)



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

A continuación se mostrara el plano “P&ID” del tanque de contacto ver figura 35.

Figura 35. P&ID tanque de contacto.



12.6. ESTUDIO DETALLADO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA TRATADA

2.6.1. Parte eléctrica. La conforman los sistemas de excitación y alimentación eléctrica de los motores y de la alimentación y control de las válvulas de mariposa de cada bomba.

2.6.2. Parte mecánica. La conforman: nueve bombas de eje vertical de dos etapas cada una, las válvulas de retención, las de mariposa y el sistema contra el golpe de ariete. Ver figura 36.

Figura 36. Sistema de bombeo.



(A) Motor

(B) Bomba eje vertical

Continuación de figura 36. Sistema de bombeo.



(D) Válvulas de retención

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

El paso de agua filtrada hacia las cisternas se hace a través de un conducto cerrado de 5,1 x 3,5 m y 74 m de largo, el cual ramifica al llegar a las cisternas en dos conductos cada uno de 5,40m x 2,50 m. Las dos cisternas que sirven de pozo de succión a las bombas son independientes, cada una con una capacidad máxima de 1515 m, la cual es garantizada por sendos vertederos de excesos.

La estructura de las cisternas se construyó para la capacidad futura de la planta, o sea que en el futuro sólo bastará hacer el montaje de las respectivas bombas. Actualmente la cisterna que alimenta el lado norte sirve cuatro bombas para agua tratada y la cisterna lado sur sirve 5 bombas para agua tratada que descargan a dos tuberías de 66 de diámetro las cuales constituyen las denominadas transmisión Norte y Transmisión Sur, y otra tubería de 36 .

2.6.3. Operación y control del sistema eléctrico. En la operación del sistema de bombeo de agua tratada, al igual que en bocatoma, deben distinguirse dos situaciones.

2.6.4. Operación inicial de la planta. Aquí se contempla la situación del primer funcionamiento de la planta y además aquellos casos en la que por motivo de trabajos de mantenimiento sea necesaria para la producción de agua por un período largo, durante el cual la red de distribución de la ciudad puede secarse.

Estas suposiciones son las críticas y casi imposible pues para que se presentaran esas situaciones sería necesario también que la planta del Río Cauca no pudiera trabajar.

Para la operación y en la suposición de que hay fluido eléctrico, lo primero que se debe verificar es la disponibilidad de suficiente agua a presión para el enfriamiento del cojinete de carga del motor. La verificación de la disponibilidad de agua puede hacerse observando el volumen de agua que descarga en el desagüe respectivo de cada motor.

La verificación anterior se hace más que todo para comprobar que no hay obstrucciones en la tubería o válvulas cerradas.

El funcionamiento de estas bombas implica el funcionamiento de las bombas de agua cruda (1,3 y 4), por lo tanto debe haber seguridad de disponibilidad de agua para enfriamiento de los motores.

2.6.5. Operación normal de la planta. Esta situación contempla el caso de paradas cortas causadas, por ejemplo, por falta de fluido eléctrico. También contempla el caso de la operación de una bomba estando las otras en funcionamiento.

Cuando se ha producido una interrupción intempestiva del fluido eléctrico salen del servicio los motores que estaban en funcionamiento, de modo que las válvulas de mariposa quedarían abiertas, siendo necesario cerrarlas cuando se restablezcan el servicio de energía, antes de iniciar de nuevo los motores.

2.6.6. Bombas para agua tratada. Cada unidad de bombeo está conformada por un motor y una bomba.

2.6.7. Motor. Los motores de las bombas son de diferentes marcas: Hitachi (bomba 1, 2 y 4), Toshiba (bombas 3, 7 y 8), Louise Allis (bomba 5), Moteurs Alsthon (bomba 6) y ABB (bomba 11); sincrónicos, de eje vertical con una potencia de 1250 HP y 900 RPM, funciona con un voltaje de $4160 \pm 10\%$ voltios y una corriente de 171 amperios. La refrigeración del motor se hace por aire.

Antes y durante la operación de dichos motores se recomienda estar comprobando si se presenta desequilibrio en el voltaje de carga el cual tal como se había indicado anteriormente, puede variar entre 3744 y 4576 voltios. Está comprobación se hace observando el voltímetro localizado en el gabinete identificado con el No. 101 cuando se opera la perilla para medición de voltaje.

Además de los mandos eléctricos de los motores descritos con anterioridad cada motor consta de:

- Dos termómetros para la medición de las temperaturas de las chumaceras, guía superior e inferior. La temperatura límite máxima es de 80°C. Considerándose como temperatura normal la inferior a 65°C.

- Un termómetro para medición de la temperatura de la chumacera de carga. La temperatura límite máxima es de 80°C considerándose como normal la inferior a 60°C. Ver figura 37.

Figura.37. Termómetro para la chumacera



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Un gabinete denominado instrumento de temperatura localizado cerca a cada motor y el cual contiene un indicador de temperatura del estator, considerándose como temperatura normal la inferior a 70°C. También contiene dicho gabinete 2 indicadores de temperatura cuyos sensores van localizados en el arrollamiento de estator en 4 puntos diferentes. El indicador inferior identificado como. Posición de falla ligera para alarma muestra la temperatura del arrollamiento estatórico en cualquiera de los 4 puntos, mediante la respectiva conmutación de la perilla inferior denominada conmutador Para detectar tipo resistencia.

Esa temperatura se considera normal sin no excede de 150°C. El objeto de este elemento, como su nombre lo indica, es dar una alarma de anormalidad sin que el motor se pare; que, una vez dada la alarma, mediante el conmutador se puede establecer el sitio que originó la alarma. El indicador superior denominado. Posición de falla grave para disparo. Opera y presta servicio en forma similar al descrito antes, diferenciándose en que este apaga el motor en lugar de dar alarma solamente.

Calefacción del aire ambiente, cuyo fin es evitar humedad en el motor. La alimentación eléctrica de esta parte del motor se hace desde la subestación N°. 2 colocando en posición ON el interruptor denominado. 4 válvulas motorizadas por bomba de agua filtrada 1 y calentadores de motores. Cabe anotar en este punto, que este equipo siempre deberá estar en funcionamiento, más aún si los motores han sido parados por cualquier motivo.

El agua de enfriamiento para chumacera deberá cumplir la siguiente condición: Caudal 8 GPM; presión 15 PSI; temperatura no mayor de 30°C.

2.6.8. Bomba. El sistema de bombeo de agua tratada está conformado por 6 bombas Byron Jackson y 3 bombas EBARA, todas de eje vertical, de 2 etapas, tipo turbina auto lubricado. Las características de placas son: Caudal 1.2 metros³/segundo y cabeza 64m. Estos valores pueden variarse de acuerdo con la necesidad de cabeza en la red de distribución, lógicamente estas variaciones implicarán reducciones en la eficiencia del sistema.

Con el fin de controlar precisamente el nivel mínimo y máximo de las cisternas se ha instalado un sistema de alarma que indica el momento en que alcanzan esos niveles; además, cada cisterna consta de un indicador de nivel con una escala graduada en porcentaje, correspondiente al rango 0 - 100% a la variación del nivel de agua de 0 y 4 metros.

Válvula de retención, cuyo objetivo es permitir el flujo en un solo sentido. Está provista, en su parte exterior de una cámara de amortiguamiento cuya función es minimizar el golpe que se presenta cuando la válvula cierra y de un contrapeso que cierra la válvula rápidamente antes de que el flujo se devuelva.

Válvula de mariposa motorizada, la cual ya fue mencionada con anterioridad, faltando sólo indicar que la válvula está provista de un cuadrante que permite conocer su posición de apertura; además consta de un volante para operación manual, el cual para operarlo es necesario presionarlo para desenclavarlo y proceder a hacerlo girar para el lado deseado.

Como se había indicado anteriormente, las válvulas de mariposa deberán permanecer cerradas mientras su respectiva bomba no esté operando. Esto implica que después de una disparada, antes de volver a iniciar, será necesario cerrar las válvulas.

2.6.9. Sistema contra golpe de ariete. El sistema contra golpe de ariete está conformado por un recipiente con aire a presión y por dos válvulas especiales que permiten, mediante señales neumáticas, la entrada y la salida de aire para así amortiguar la sobrepresión que se presenta cuando hay una interrupción súbita de bombeo. Ver figura 38.

Figura 38. Golpe de ariete.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.7. ESTUDIO DETALLADO DE LA SUB-ESTACIONES ELÉCTRICAS

El sistema general de alimentación eléctrica de la planta se hace desde la subestación eléctrica de Juanchito, San Luís y sub-estación acueducto, las cuales alimentan la planta por medio de dos líneas de 34.500 voltios cada una. En la planta la transformación y distribución eléctrica se hace a través de tres subestaciones las cuales ya han sido mencionadas y que entraremos a describir a continuación.

2.7.1. Sub-estación eléctrica N° 1. En esta se encuentran, además de los mandos de las bombas de agua tratada, dos transformadores generales, cada uno de los cuales tiene capacidad para alimentar toda la planta transformando la alimentación general de 34.500 V a 4.160 V.

En la suposición de tener alimentación de energía hasta el o los transformadores la alimentación al sistema general de la subestación N° 1 se hace accionado la manija localizada en el gabinete denominado. Transformador 34.5 Kv - 4.16 Kv.

En la subestación No 1 también se encuentran los gabinetes de alimentación para las subestaciones No 2 y No 3 cuya operación permite alimentar dichas subestaciones sin importar si la alimentación general se hace a través de los transformadores independientemente o usando sólo uno y el enlace.

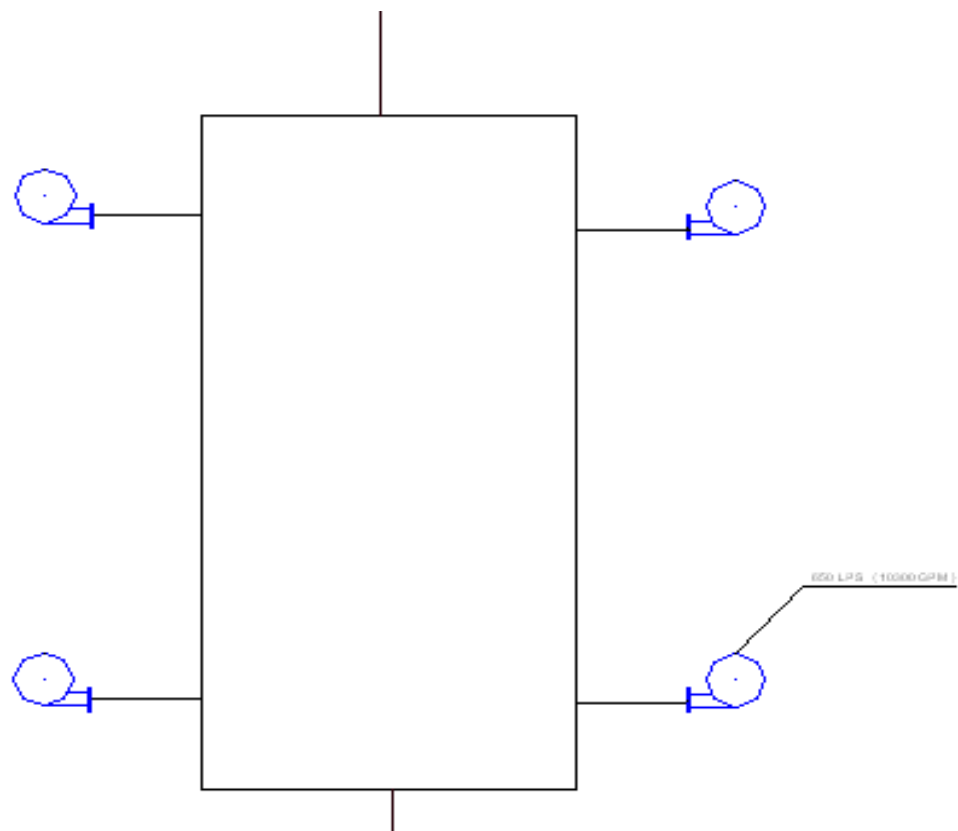
2.7.2. Subestación eléctrica N° 2. Esta subestación está conformada por dos transformadores los cuales al igual que en las otras subestaciones, uno es de reserva sin que ello implique que no puedan operar simultáneamente.

La operación normal de la subestación se hace a través de un transformador y el enlace entre barras. Estos transformadores transforman la alimentación recibida desde la subestación N° 1 de 4160 V a 440 V.

2.8. ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES

Debido a la localización de la planta, el desagüe final de la misma no puede hacerse por gravedad sino por bombeo. Por lo anterior los desagües de toda la planta son llevados a una estación de bombeo denominada: Estación de bombeo de aguas residuales. Este sistema está conformado por cuatro bombas de eje vertical, de una etapa, con una capacidad de 650 Ls (10300 GPM) y una cabeza de 10 m (34 pies) para máxima eficiencia. Estas bombas descargan el agua a una cámara de carga desde donde por gravedad, sale hacia el río. Ver figura 39.

Figura39. “P&ID” estación de bombeo de aguas residuales.



2.9. DOSIFICACIÓN QUÍMICA

El sistema de dosificación de sustancias químicas fue diseñado para un rango de variación en la producción de la planta entre 1.6 m³/segundo y 12 m³/segundo.

Los equipos de dosificación son elementos de operación sencilla y fácil de mantenimiento y operación, a continuación veremos mas en detalle cada uno de los componentes químicos que se agregan al proceso del agua.

2.9.1. Dosificación del coagulante. Como elemento de coagulación se ha previsto el uso de sulfato de aluminio (alumbre) aplicado en solución, sin que esto signifique descartar la posibilidad de usar otro tipo de coagulante (sulfato férrico) con las debidas precauciones.

En los tanques de preparación la solución es disuelta en unos tanques que están predeterminados para esta función de hay se pasa a los tanques de almacenamiento en donde como su nombre lo indica el alumbre es almacenado para quedar con una mejor preparación y concentración, para esto se han dispuesto de cuatro tanques en donde siempre esta en funcionamiento uno y se van rotando con el fin de mantener los cuatro con el mismo desgaste por año.

El sistema de agitación es controlado desde la botonera que esta al lado de cada equipo pero antes de accionar el botón se debe energizar el sistema y se hace desde la subestación eléctrica numero dos (2). En la parte de impulsión se tienen 8 bombas MILTON ROY y tienen la siguiente distribución; de la 1 a la 4 para reactores A y B y de la 5 a la 8 para los reactores C y D. En caso de emergencia todas la bombas están conectas entre si con los reactores para así tener una uniformidad de dosificación en su respectiva CADICA.

Para aplicar el coagulante al agua cruda a nivel de la planta, primero se debe realizar el ensayo en el laboratorio, mediante la prueba de jarras, que es una técnica donde se realiza una simulación del proceso de clarificación del agua cruda.

La aplicación del coagulante se hace directamente por medio de una canaleta perforada, en la caída de los vertederos de alimentación a los reactores.

2.9.2. Dosificación de la Cal. El principal objetivo de la cal es estabilizar el pH (entre 8 y 8.5) para el consumo humano. En la dosificación de la cal se tiene como en la dosificación de coagulante:

- Tanques de preparación.

- Tanques de almacenamiento.
- Sistema de Agitación.
- Dosificación e impulsión.
- Aplicación.

La diferencia entre el coagulante y la cal es que esta no es impulsada con bombas MILTON ROY sino por medio de vacío, este vacío es creado por la presión del agua en la red (tubería).

2.9.3. Dosificación del Cloro. Los tanques de almacenamiento que son utilizados son los carrotanques en los que son transportados con una capacidad de 20 toneladas. Estando en el lugar adecuado se procede a realizar las conexiones respectivas para empatar el cloro a la red. La alimentación del cloro se realiza desde los carrotanques por medio de las tuberías ya instaladas, dejando siempre una sin uso en caso de emergencia o percance

El elemento para la desinfección del agua es el cloro, el cual se aplica de manera gaseosa.

Debido a que las características químicas y bacteriologas del agua no son constantes, es difícil preestablecer una dosis fija, la dosificación se hará en base de experimentos con agua cruda y tratada. Después de la desarenación se desea aplicar mayor cloro al agua cruda que a la tratada para mantener un residual en la red de distribución. Esto ayuda a la eficiencia de reactores y filtros.

Esta forma de operación siempre se ha tenido en las plantas, es decir, que la dosificación del agua cruda será tal que el afluente a los filtros tenga por lo menos 0.4ppm de cloro residual libre, sin importar la dosis de aplicación. El sistema de dosificación del cloro se conforma por elementos los cuales son:

- Tanque de almacenamiento.
- Alimentación de dosificadores.
- Dosificación e impulsión.
- Sistema de control (analizadores).

El cloro líquido se transporta a través carrotanques de 20 ton, los cuales son previamente conectados a tanques estáticos de 50 ton métricas.

Para realizar el trasvase se tiene en cuenta el clima y el peso utilizando una presión de 15 psi.

La alimentación desde los carrotanques se hace a través de 2 tuberías. Se utilizan filtros para las impurezas, especialmente el cloruro férrico, después de cada filtro hay una válvula de presión motorizada, esta regula las variables presiones del gas a una presión fija para así mejorar el funcionamiento de los clorinadores y reducir la posibilidad de relicuefacción del cloro.

- Sistema de inyección del cloro:
 - Proveer el vacío necesario para el funcionamiento del clorinador.
 - Aprovechar el flujo del agua a través de él para hacer la solución con cloro.

Para que funcione adecuadamente es necesario suministrarle agua a presión, por cuestiones de economía se trabaja con presiones superiores pero cercanas a 25 psi. También sirve como válvula, impidiendo el paso del agua hacia el clorinador y línea de cloro. Al parar la planta, la post-cloración solo se suspenderá cuando los filtros dejen de filtrar.

Se recomienda que la presión mínima de cloro para un funcionamiento adecuado del clorinador sea de 20psi.

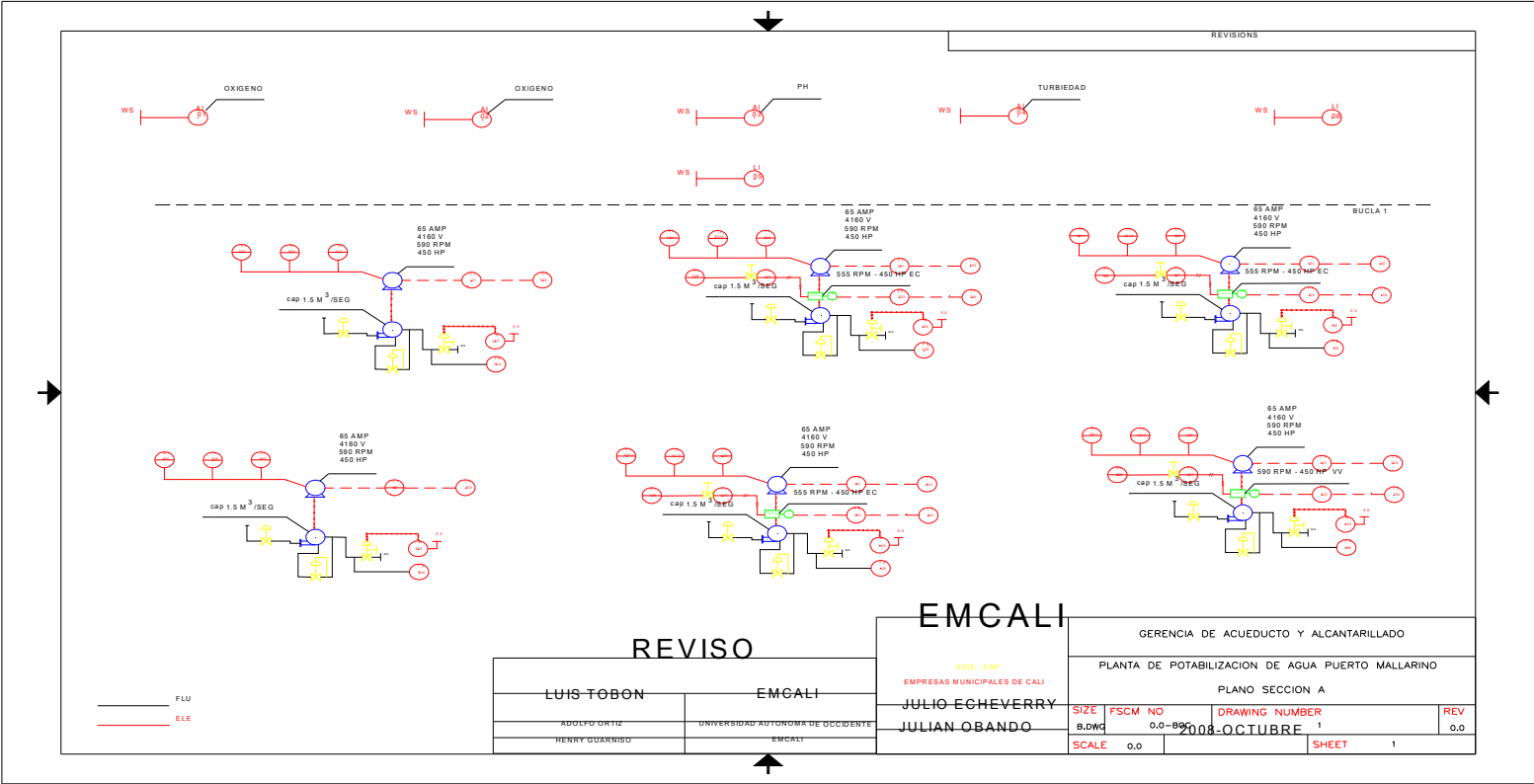
2.9.4. Dosificación carbón activado. Debido a que el alto grado de contaminación de las aguas del río Cauca, deterioran más la calidad de agua, se llevo a cabo la aplicación en forma continua de carbón activado, con el fin de atrapar olores y sabores al agua cruda.

- Tanque de preparación y almacenamiento: Para preparar la solución de carbón activado, se dispone de un tanque metálico de aproximadamente 2m³ de capacidad. Este a la vez sirve de almacenamiento.
- Sistema de agitación: Se acondicionó un motor con su respectivo agitador, en la parte superior del tanque que permanece funcionando en forma continua.
- Dosificación e impulsión: El sistema de dosificación es controlado por un tornillo sin fin, que permite la caída del carbón activado hacia el tanque de mezclado. La cantidad que cae es proporcional al porcentaje de apertura del tornillo. Como el tanque de preparado, sirve también de almacenamiento y a la vez de dosificación, se tiene un sistema de flotador, que garantiza un nivel constante del agua.

2.10. PLANOS (MECÁNICOS, ELÉCTRICO, ELECTRÓNICOS, HIDRÁULICO, NEUMÁTICO)

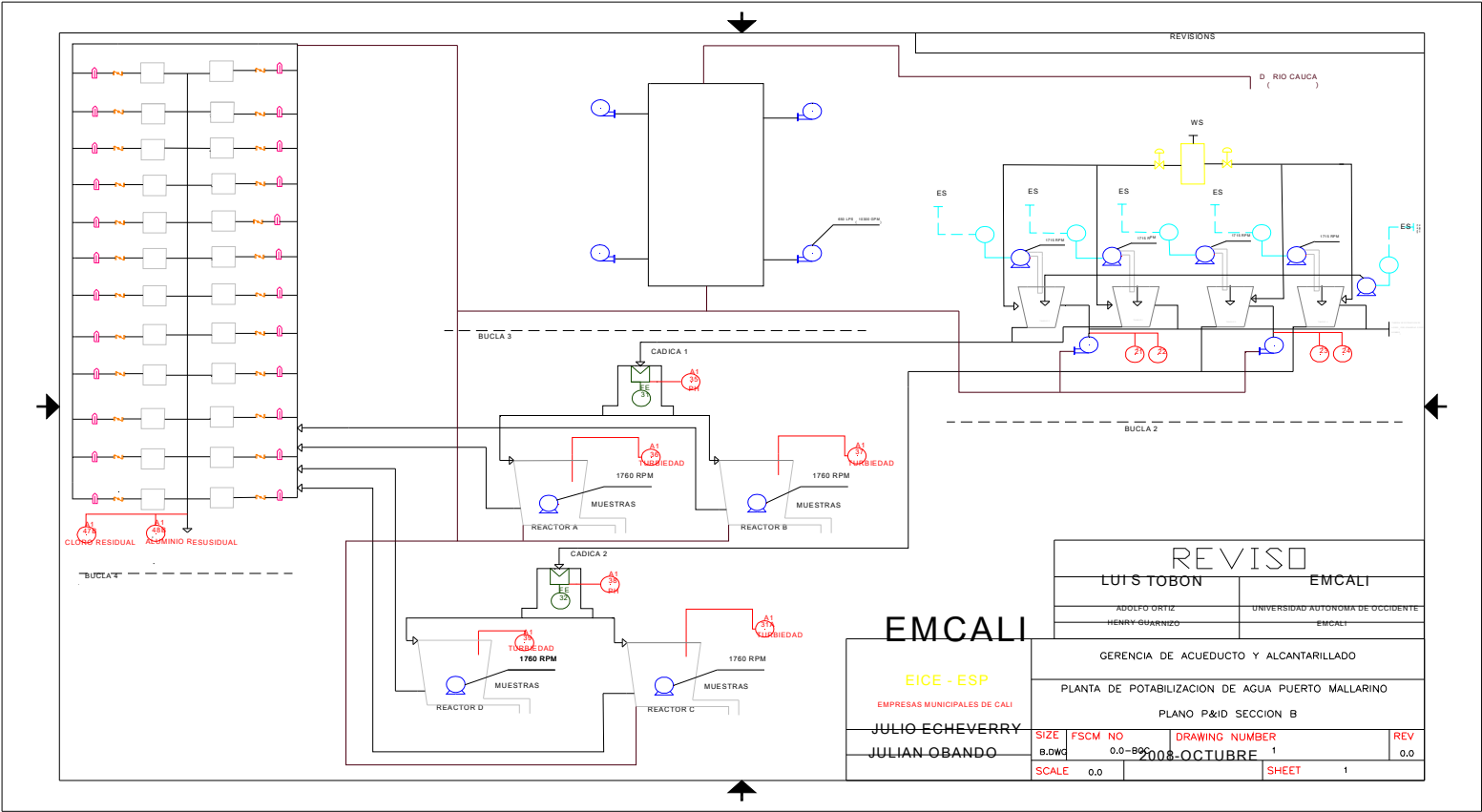
A continuación se muestra el plano “P&ID” del sección A ver figura 40.

Figura 40. P&ID-sección A



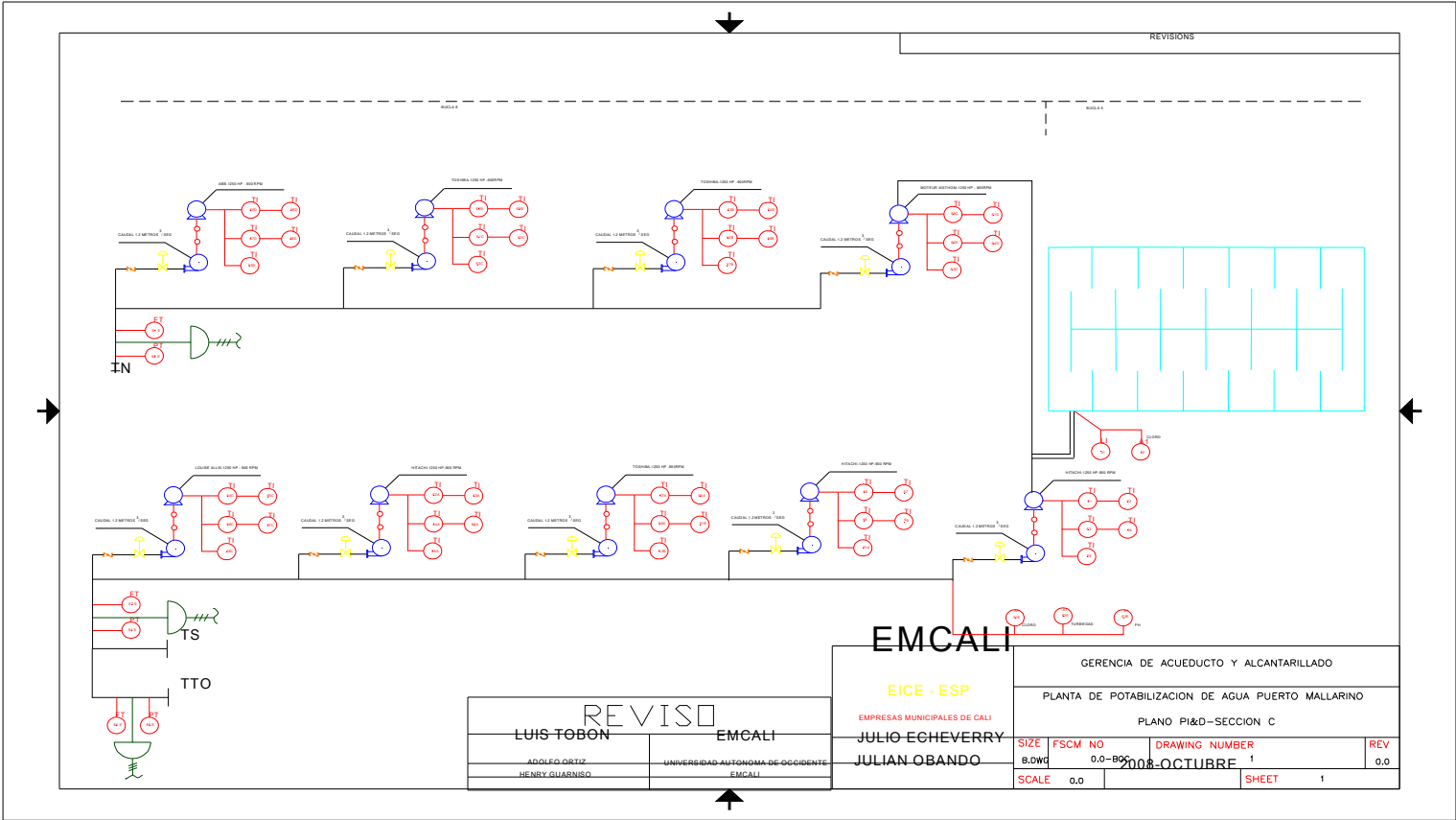
A continuación se muestra el plano “P&ID” del sección B. Ver figura 41.

Figura 41. P&ID-sección B



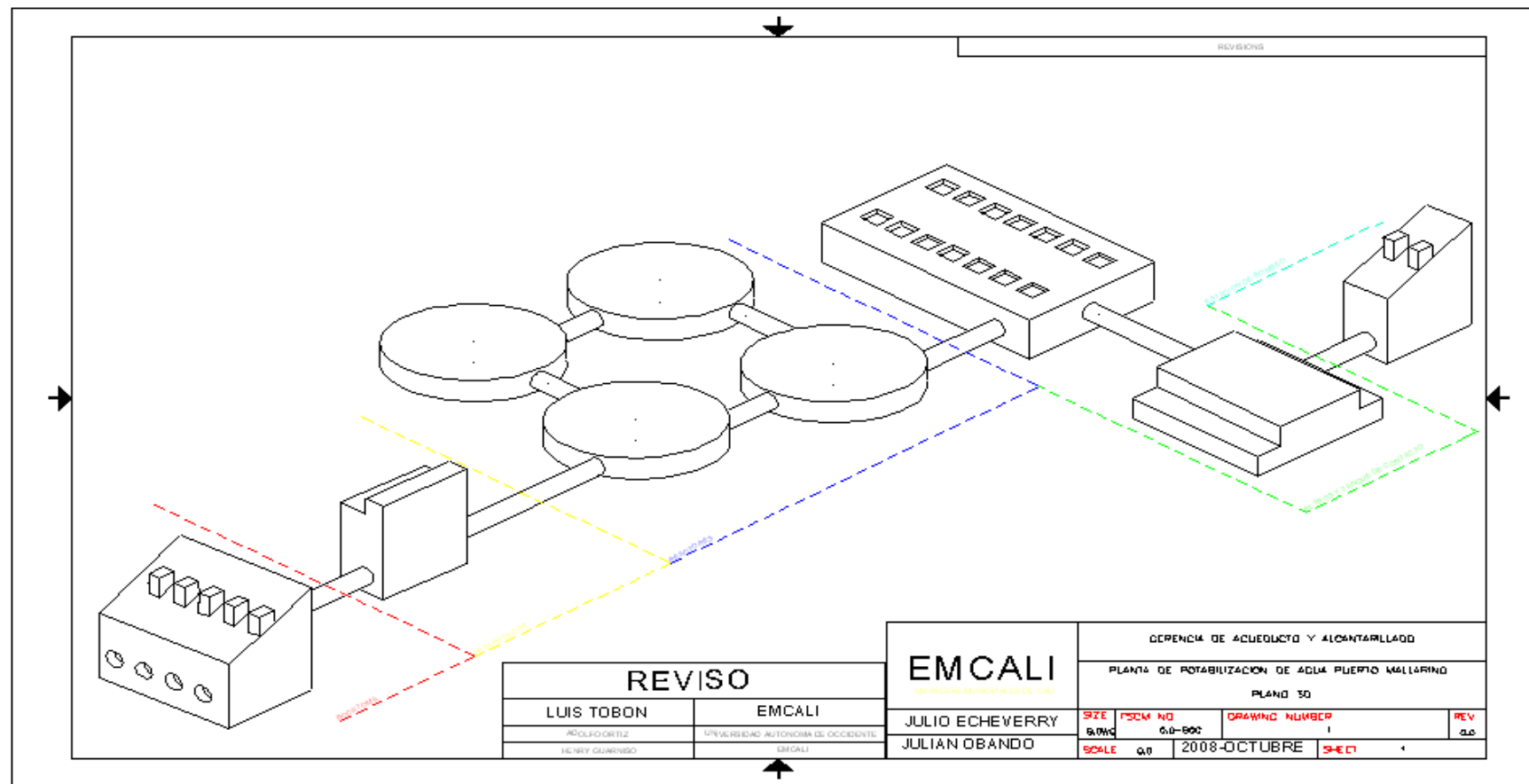
A continuación se muestra el plano “P&ID” del sección C. Ver figura 42.

Figura 42. P&ID-sección C



A continuación se muestra el plano isométrico de la planta. Ver figura 43.

Figura 43. Isométrico.



2.10.1 Preguntas claves para el entendimiento de los diagramas “P&ID”.
Con respecto al análisis del tratamiento de agua potable se efectúan las siguientes cuatro preguntas a cada subsistema del proceso.

- Bocatoma (bucle numero 1).
 - Objetivo del control.
 - Regulación de caudal para el sistema.
 - Las variables que se miden.
 - Oxígeno.
 - PH.
 - Turbiedad.
 - Nivel.
 - Las variables que se manipulan.
 - El caudal hacia la planta
 - Las perturbaciones del sistema.
 - Contaminación del río.
 - Fallas por el fluido eléctrico.
 - Desbalance de las fases.
 - Temperatura en los rodamientos.
 - Mala calibración de los equipos.
- Desarenador (bucle numero 2).
 - Objetivo del control.
 - Lavado de las rejillas y decantación de la arena.
 - Las variables que se manipulan.
 - Carbón activado.

- Las perturbaciones del sistema.
- Taponamiento de la tubería por la arena.
- Reactores (bucle numero 3).
- Objetivo del control.
- El control de las turbinas y las válvulas de descarga.
- Las variables que se miden.
- PH.
- Turbiedad.
- Caudal.
- Las variables que se manipulan.
- Cal primaria.
- Cloro residual.
- Sulfato de alumbre.
- Las perturbaciones del sistema.
- Daño de la turbina y en la válvula de descarga.
- Mala calibración de los equipos.
- Filtros (bucle numero 4).
- Objetivo del control.
- Apertura de la válvula del canal perimetral.
- Las variables que se miden.
- cloro residual.
- Aluminio residual.
- Las perturbaciones del sistema.

- Mala calibración de los equipos y la mala filtración.

➤ Tanque de contacto (bucla numero 5).

- Objetivo del control.
- Regulación del nivel hacia la cisterna.
- Las variables que se manipulan.
- Nivel.
- Cloro residual.
- Las variables que se miden.
- Cal.
- Las perturbaciones del sistema.
- Poco tiempo en el tanque de contacto.
- Mala calibración de los equipos.

➤ Estación de bombeo (bucla numero 6).

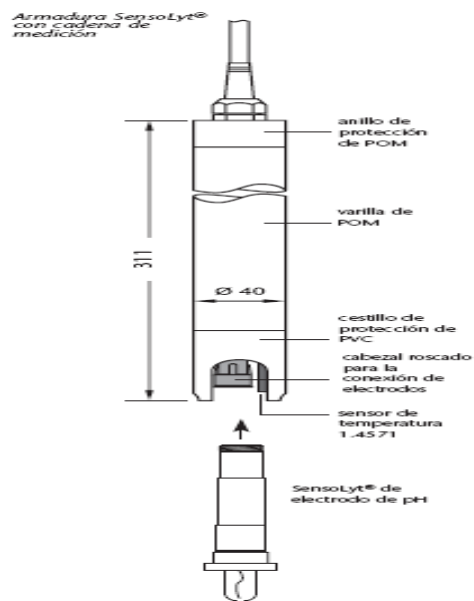
- Objetivo del control.
- Bombeo regulado hacia la ciudad.
- Las variables que se manipulan.
- Presión.
- Cloro residual.
- PH.
- Turbiedad.
- Caudal.
- Las variables que se miden.
- Caudal.

- Las perturbaciones del sistema.
- Nivel de la cisterna.
- Fallas por el fluido eléctrico.
- Desbalance de las fases.
- Temperatura en los rodamientos.
- Mala calibración del os equipos.

2.11. EVALUACION DE PARÁMETROS DE EQUIPOS EN EMCALI

2.11.1 La medición consiste es un diafragma perforado. En la cual tiene una referencia en el electrolito y va comparando con un sistema de referencia. Este sensor se encuentra en la bocatoma y reactores. Ver figura 44.

Figura 44.Sensor sensolyt.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.11.2. Datos técnicos. Ver tabla 6.

Tabla 6. Datos técnicos PH (SensoLyt® 700 IQ))

Salida de señal	Digital
Consumo de energía	0,2 watio
Condiciones ambientales	Temperatura de funcionamiento: 0 °C ... +60 °C
Conexión eléctrica	Cable blindado de 2 de 7 polos de rosca (IP 65) con extremos de cable conductores con cierre abiertos rápido en la sonda
Protección integrada contra rayos	SI
Componentes mecánicos	Carcasa: acero fino V4A 1.4571 Cestillo de Cestillo de protección: PVC protección: PVC Asiento de la cadena de medición: POM Clase de protección: IP 68 Clase de protección: IP 68
Dimensiones (Largo por Diámetro)	508 x 40 mm; versión SW: 515 x 59,5 mm
Peso (sin cable)	Aprox. 970 g; versión SW: aprox. 1.800 g
RANGO (PH)	0.00...14.00PH(DEPENDIENDO DEL ELECTRODO)
RANGO (ORP)	-2000 MV...+2000 MV
RESOLUCION(PH)	0.01 PH
RESOLUCION (ORP)	1 MV

2.12. OXIGENO (SONDAS DE OXÍGENO DISUELTO)

2.12.1. Funciona con un sistema de 3 electrodos. Colector A con dos electrodos de plata. Uno de ellos cumple la función de contra electrodo G conduciendo corriente, mientras que el otro actúa de electrodo de referencia R. Este sensor se encuentra en el bocatomá.SENSOR TRIOXMATIC® .Ver figura 45.

Figura 45. Sensor trioxmatic



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.12.2. Datos técnicos. Ver tabla 7.

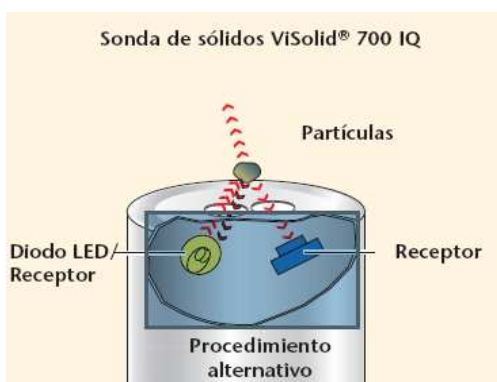
Tabla 7. Datos técnicos sensor trioxmatic

Intervalo de medición (25 °C) Concentración de O ₂ Saturación de O ₂	0,0 ... 60,0 mg/l 0 ... 600%
Tiempo de reacción a 25 °C	t ₉₀ : 180 s.
Señal de salida	Digital
Consumo de energía	0,2 vatios
Conexión eléctrica	Conexión eléctrica
Dimensiones	360 x 40 mm, incl. la rosca de conexión del cable de conexión de la sonda SACIQ Versión SW: 360 x 59,5 mm
Peso (sin el cable)	Aprox. 660 g; versión SW: aprox. 1.170 g
Rango de temperatura	NTC Integrado 23...140 °F (-5 °C...+60 °C)
Resolución	0,1 mg/l 1%

2.13. MEDICIÓN DE TURBIDEZ Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

2.13.1. Principio de medición de sólidos suspendidos. Al aumentar el contenido de sólidos suspendidos, las partículas interfieren entre ellas. Al incrementar el número de partículas la fuente de luz no llega a todas ellas o la luz dispersa no llega al detector, lo cual causaría la captación de valores falsos. Por esta razón, el método de luz dispersa a 90° que se utiliza para la turbidez sólo es limitadamente apropiado para esta aplicación. 2.13.1. Este sensor se encuentra en la bocatoma y reactores. Ver figura 46.

Figura 46. Sensor de turbidez



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.13.2. Datos técnicos. Ver tabla 8.

Tabla 8. Datos técnicos sensor de turbidez.

Parámetros	UNF; NTU; TEF
Intervalo de medición	0,05 ... 4000 UNF
Componentes Mecánicos	Ventana de medición: Zafiro Carcasa: acero fino V4A 1.4571 Clase de protección: IP 68
Consumo de energía	5 vatios
Dimensiones	365 x 40 mm (longitud x diámetro), incluye cable de conexión de la sonda SACIQ
Peso	Aprox. 990 g (sin cable)
(RESOLUCIÓN) UNF; NTU; TEF	mg/l SiO ₂ ; ppm SiO ₂ , g/l TS

Continuación tabla 8. Datos técnicos sensor de turbidez

(RESOLUCIÓN) AUTOMÁTICA ACORDE AL INTERVALO DE MEDICIÓN 0,001 ... 1 UNF	0,001 mg/l ... 0,01 g/l, 0,001 mg/l ... 0,1 g/l
REPETIBILIDAD	LÍMITE < 0,015% Ó $\geq 0,006$ UNF DE REPRODUCIBILIDAD SEGÚN DIN ISO 5725 / DIN 1319

2.14. SLT32 NIVEL

Su funcionamiento consiste en un haz de luz de ultrasonido con un Angulo de 8 grados y se encuentra ubicado en la bocatoma y tanque de contacto. Ver figura. 47.

Figura 47. Sensor de nivel.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.14.1. Datos técnicos. Ver tabla 9.

Tabla 9. Datos técnicos sensor de nivel.

Sensor	PVC y teflón.
Compuesto del sensor	compuesto por un mínimo de deadband o troquelado de 12
Alcance	32 pies (10 m)
Frecuencia	42 kHz
Angulo	Un haz de ultrasonidos ángulo de 8 grados.
Sumergimiento	Sensor deberá soportar la sumersión accidental a 20 psi
Temperatura	Sensor de temperatura de funcionamiento será de -40 °F a 150 °F (-40 °C hasta 65 °C).
Exactitud de la medición	± 0,25%
Alcance	32 pies (10 m)

2.15. ANALIZADOR DE PH (GLI MODELO 53)

La medición consiste en un electrodo de combinación convencional y va comparando con un sistema de referencia. Se encuentra ubicado en la estación de bombeo. Ver figura 48.

Figura 48. Analizador de PH (gli modelo 53).



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.15.1. Datos técnicos. Ver tabla 10.

Tabla 10. Datos técnicos. Analizador de PH (gli modelo 53)

El analizador a base	De microprocesador aceptará cualquier pH de tecnología GLI Diferencial o el sensor ORP, o cualquier electrodo de combinación convencional.
Lenguas	Múltiples
LCD	El analizador tendrá una demostración de LCD gráfica de las matrices con 128 x 64 píxeles
Diagnósticos	El analizador tendrá el diagnóstico de prueba de usuario para salidas, relevos, y alarmará sin requerir el equipo especial de prueba.
Salidas análogas.	El analizador tendrá dos aisló 0/4-20 mA
Modelo	El analizador será la Empresa Hach, GLI Modela el pH P53 y el analizador ORP.
Precisión	El 0,1% del Span
Estabilidad	0,05% del Span por 24 hrs., no acumulativo
Repetibilidad	El 0,1% del Span o mejor
Deriva de temperatura	Cero: menos del 0,03% de Span por °C Span: menos del 0,03% de Span por °C

2.16. ANALIZADOR DE TURBIEDAD

La medición consiste en un haz de luz ratiometric de cuatro rayos y se encuentra ubicado en el reactor y la estación de bombeo. Ver figura 49.

Figura 49. Analizador de turbiedad



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.16.1. Datos técnicos. Ver tabla 11.

Tabla 11. Datos técnicos analizador de turbiedad.

SISTEMA	El sistema consistirá en un T53 el analizador y el sensor de Modelo 8320 empleará ratiometric de cuatro rayos la medición.
ESTANDAR	El sistema encontrará el Estándar Internacional para la Medida de Turbiedad [la ISO 7027-1984 (E)] y USEPAAPPROVED GLI el Método 2
LDC	El analizador tendrá una demostración de LCD gráfica de las matrices con 128 x 64 pixeles
DIACNOSTICO	Diagnósticos para identificar las causas específicas de deterioro, mal funcionamiento de sistema o condiciones.
SALIDAS	El analizador tendrá dos aisló 0/4-20 salidas mA análogas.
CAUDAL	0,05 a 7 GPM (0,19 a 26,5 LPM)
CONDICIONES AMBIENTALES	32-140 ° F (0-60 ° C)

Continuación tabla 11. Datos técnicos analizador de turbiedad.

EJEMPLO DE RANGO DE TEMPERATURA	32-140 ° F (0-60 ° C)
RANGO	Standard Design: 0-50 psig a 68 ° F (0-3.4 bar a 20 ° C)
PRESIÓN	0-150 psig a 68 ° F (0-10.2 bar a 20 ° C)
TIEMPO DE RESIDENCIA	9,5 segundos a 1 GPM (3,8 LPM)

2.17. ANALIZADOR DE CLORO

El usuario programa un punto de consigna (set point) para la dosificación del cloro. Cuando el valor medido por el equipo es inferior al punto de consigna, se activa un relé que permite la dosificación. Se encuentra ubicado en el tanque de contacto, filtros y en la estación de bombeo. Ver figura 50. Analizadores de cloro.

Figura 50. Analizador de cloro.



Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

2.17.1. Datos técnicos. Ver tabla 12.

Tabla12. Datos técnicos analizador de cloro.

LCD	Lectura de medida de dígito y línea de texto alfanumérica scrolling de seis caracteres
Dimensiones	Anchura de 34.3 cm x altura de 41.9 cm x profundidad de 19.1 cm (13.5 en. x 16.5 en. x 7.5 en.)
Salidas	Salida de Registrador: Una salida de registrador aislada, 4-20 mA (puede ser ajustada a 0-20 mA). Impedancia de carga recomendada 3.6 a 500 ohmios.
Temperatura	- 40 a 60 °C (-40 a 140 °F) Gama de Temperatura de funcionamiento: 5 a 40 °C (41 a 104 °F) Humedad: El 90 % en 40 °C
Conexiones	Exigencias de Poder Eléctricas: 100-115/230 la V ac (la selección cambian dentro del instrumento); 95 VA, 50/60 el Hz, 2.5 Amperio funde la Conexión de Poder: La conexión hecha por tres bloque de terminal de barrera de cable por un ½ - el conducto de pulgada agujerea en el caso. Gama de cable: 12-18 AWG.
Rango	Funcionamiento que Maneja gama: 0-5 mg/L
Exactitud	El ± 5 % o ± 0.035 ppm
Precisión	El ± 5 % o ± 0.005 ppm ppm cualquiera son el Límite de Detección mayor: 0.035 Vez de Ciclo ppm: 2.5 minutos

2.18. ESTADO ACTUAL DE EQUIPOS EN EMCALI

Para realizar el estudio actual de los equipos se tomo como referencia los elementos que están el en diagrama de flujo "P&ID" de las figuras 16, 40,41, que están en la norma "ISA" (Instrument Society of America) encargada de establecer un medio uniforme de designación de los instrumentos y sistemas de medición para el control, que buscan el mejoramiento continuo de la calidad.

2.18.1. Estado eléctrico de los equipos en bocatoma. Ver tabla 13.

Tabla 13. Estado eléctrico (bocatoma)

NUMERO	MARCA	TIPO	ESTADO ELECTRONICO
01(A1)	WTW	Oxigeno	REGULAR
01(A2)	WTW	Oxigeno	REGULAR
01(A3)	WTW	PH	REGULAR
01(A4)	WTW	Turbiedad	REGULAR
05(LI)	SLT32	Nivel	BUENOS
06(LI)	SLT32	Nivel	BUENOS
101(TT)	IHODA	Temperatura	NA
102(TT)	IHODA	Temperatura	NA
103(TT)	IHODA	Temperatura	NA
104(TT)	IHODA	Temperatura	NA
201(TT)	IHODA	Temperatura	NA
202(TT)	IHODA	Temperatura	NA
203(TT)	IHODA	Temperatura	NA
204(TT)	IHODA	Temperatura	NA
301(TT)	IHODA	Temperatura	NA
301(TT)	IHODA	Temperatura	NA
301(TT)	IHODA	Temperatura	NA
301(TT)	IHODA	Temperatura	NA
401(TT)	IHODA	Temperatura	NA
402(TT)	IHODA	Temperatura	NA
403(TT)	IHODA	Temperatura	NA
404(TT)	IHODA	Temperatura	NA
501(TT)	IHODA	Temperatura	NA
502(TT)	IHODA	Temperatura	NA
601(TT)	IHODA	Temperatura	NA
602(TT)	IHODA	Temperatura	NA
1011(EI)		VOLTAGE	NA
1010(II)		CORRIENTE	NA
109(JI)		POTENCIA	NA
2011(EI)		VOLTAGE	NA
2010(II)		CORRIENTE	NA
209(JI)		POTENCIA	NA
3011(EI)		VOLTAGE	NA
3010(II)		CORRIENTE	NA
309(JI)		POTENCIA	NA
4011(EI)		VOLTAGE	NA
4010(II)		CORRIENTE	NA
409(JI)		POTENCIA	NA
505(EI)		VOLTAGE	NA
506(II)		CORRIENTE	NA

Continuación tabla 13. Estado eléctrico (bocatoma).

507(JI)		POTENCIA	NA
605(EI)		VOLTAGE	NA
6060(II)		CORRIENTE	NA
607(JI)		POTENCIA	NA

2.18.2. Estado eléctrico de los equipos en los reactores. Ver tabla 14.

Tabla 14. Estado eléctrico (reactores)

NUMERO	MARCA	TIPO	ESTADO ELECTRONICO
35(A1)	WTW	PH	REGULAR
36(A1)	WTW	Turbiedad	REGULAR
37(A1)	WTW	Turbiedad	REGULAR
38(A1)	WTW	PH	REGULAR
39(A1)	WTW	Turbiedad	REGULAR
31A(A1)	WTW	Turbiedad	REGULAR
31(FE)	LCI LEVEL COMMANDER	Caudal	BUENOS
32(FE)	LCI LEVEL COMMANDER	Caudal	BUENOS

2.18.3. Estado eléctrico de los equipos en los reactores. Ver tabla 15

Tabla 15. Estado eléctrico (filtros)

NUMERO	MARCA	TIPO	ESTADO ELECTRONICO
47B(A1)	HASH	COLOR RESIDUAL	BUENOS
48B(A1)	AZTE 1000	ALUMINIO RESIDUAL	NF

2.18.4. Estado eléctrico de los equipos en el tanque de contacto. Ver tabla 16.

Tabla 16. Estado eléctrico (tanque de contacto)

NUMERO	MARCA	TIPO	ESTADO ELECTRONICO
51(LI)	Slit25	Nivel	BUENOS
52(A1)	HASH	Cloro residual	BUENOS

2.18.5. Estado eléctrico de los equipos en la estación bombeo de agua tratada. Ver tabla 17.

Tabla 17. Estado eléctrico (estación bombeo de agua tratada)

NUMERO	MARCA	TIPO	ESTADOELECTRONICO
61E(A1)	HASH	Cloro	BUENOS
62E(A1)	GLI 8220	Turbiedad	BUENOS
63E(A1)	GLI modelo 53	PH	BUENOS
61(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
62(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
63(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
64(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
66(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
61(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
62(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
63(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
64(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
66(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
66(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
67(I)	IHODA	TEMPERATURA	NA
68(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
69(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
61ATI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
62A(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
63ATI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
64ATI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
65ATI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
66ATI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
67ª(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
68ATI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
69ATI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
61B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
62B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
64CI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
65C(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
66C(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
67C(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
68C(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
69C(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
61DTI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
62DTI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
63DTI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
64DTI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
63B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA

Continuación tabla 17. Estado eléctrico (estación bombeo de agua tratada)

64B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
65B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
66B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
67B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
68B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
69B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
61B8TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
62B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
63B(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
65D(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
66D(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
67D(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
68D(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
69D(TI)	IHODA	TEMPERATURA	NA
FT()		CAUDAL	BUENO
FT()		CAUDAL	BUENO
FT()		CAUDAL	BUENO
PT()		PRESION	BUENO
PT()		PRESION	BUENO
PT()		PRESION	BUENO

2.18.6. Estado eléctrico de los actuadores de la estación de bombeo de agua tratada. Ver tabla 18.

Tabla 18. Estado eléctrico de los actuadores (agua tratada)

NUMERO	MARCA	FUNCIONALIDAD	ESTADO ELECTRONICO
1 A	AUMA	sistema de control con botoneras autoretentivas, por lo que al darle la orden de cerrar este continuará cerrando hasta que llegue al fin de carrera o se presione el botón STOP	BUENO
2 A	AUMA	sistema de control con botoneras autoretentivas, por lo que al darle la orden de cerrar este continuará cerrando hasta que llegue al fin de carrera o se presione el botón STOP	BUENO
3 A	AUMA	sistema de control con botoneras autoretentivas, por lo que al darle la orden de cerrar este continuará cerrando hasta que llegue al fin de carrera o se presione el botón STOP	BUENO

2.19. CRITERIOS CUALITATIVOS PARA LAS CALIFICACIONES DE LOS EQUIPOS EN EMCALI

- **Linealidad (%):** La aproximación de curva de calibración a una línea recta específica.
- **Precisión (%):** Es la cualidad de un equipo por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas.
- **Repetibilidad (%):** Es la capacidad de producción de las posiciones de la pluma o de la señal de salida del instrumento.
- **Rango (%):** Intervalo de medidas que están dentro de un límite inferior y superior.
- **Span (%):** Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.
- **Vida útil de servicio:** Tiempo Mínimo Especificado durante el cual se aplica las características de servicio continuo e intermitente del instrumento sin que se presente cambios en su comportamiento mas allá de tolerancias especificadas.

2.19.1. Significado de las calificaciones.

- **Regular:** Son equipos las cuales no trabajan en una forma correcta, su sistema de adquisición datos en red se cae con mucha facilidad, algunos de los datos medidos son erróneos y los puntos donde se instala la pantalla HMI no funcionan, por su vida útil de servicio.
- **Buenos:** Cumple con sus características. su linealidad, precisión, repetibilidad, rango y span se encuentra en un 90%.
- **NF:** Equipos que por una falla eléctrica o del sistema no funciona.
- **NA:** Equipos que se tendrán que cambiar ya que no cumple con unas características de predeterminadas para la red.

2.20. CONCLUSION DEL CAPITULO

- Con el estudio detallado del proceso de potabilización de agua que se realiza en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E, se pudo analizar que el método utilizado en Puerto Mallarino

es eficiente y eficaz por que cumple con los estándares de calidad impuesto por la organización mundial de la salud.

- Hoy la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. tiene una deficiencia en el proceso de potabilizacion de agua por lo que el 40% de la instrumentación actual y existente en Puerto Mallarino no está en buen funcionamiento, y el 60% restante está en funcionamiento.
- El propósito de la investigación planteada en este trabajo demuestra la realización del estudio detallado de toda la instrumentación que interactúa en el proceso de potabilizacion de agua en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E, permitiendo la implementación del método de ingeniería concurrente.
- Se realizaron diagramas P&ID actualizados en donde se puede ver la instrumentación existente de los diferentes subprocesos de la planta Puerto Mallarino.
- Se dio a conocer el estado, ubicación y función de cada uno de los sensores utilizados en instrumentación analítica de la planta Puerto Mallarino.

3. IMPLEMENTAR EL MÉTODO DE INGENIERÍA CONCURRENTENTE PARA LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN

3.1. IDENTIFICAR EL MEJOR TIPO DE RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL QUE SEA CONFIABLE, EFICAZ Y EFICIENTE

Para identificar el mejor tipo de red de comunicación industrial que sea confiable, eficaz y eficiente en la planta en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. se desarrollara a continuación el método de ingeniería concurrente.

3.1.1. Planeamiento de la misión. Descripción del producto: Implementar el método de ingeniería concurrente para la selección de la red de comunicación para la planta de tratamiento de agua potable Puerto Mallarino.

3.1.2. Principales objetos de marketing.

- Optimizar el proceso de tratamiento de agua con la implementación de métodos de supervisión.
- Brindar a la industria de EMCALI E.I.C.E E.S.P. una estandarización del proceso de tratamiento de agua.
- Lograr que el producto sea excelente al impacto ambiental.
- Servir de referencia para cambios en el futuro.

3.1.3. Mercado primario.

- Corresponde ala empresa de EMCALI E.I.C.E E.S.P.
- A los proveedores de instrumentación de medición.

3.1.4. Mercado secundario.

- A la empresa de EMCALI E.I.C.E E.S.P - planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino.
- Al sector de la industria purificadora de agua potable.

- A la industria con la implementación de tecnología “PLC”.

3.1.5. Premisas y restricciones. Se debe de tener en cuenta los requerimientos Tecnológicos económicos sino a su vez las necesidades administrativas y cumpliendo con una arquitectura planteada por EMCALI E.I.C.E E.S.P

- La optimización debe cumplir con la implementación de la familia de las PLC marca Allen bradley.
- Que sea compatible a los sistemas de monitoreo existentes.
- Cumplir con los buses de campo exigidos por la planta.
- Fácil mantenimiento.
- Conocimiento de las variables del proceso.
- Interfaz sencilla de fácil manejo por el usuario aunque no tengan conocimientos de computadores.

3.1.6. Partes implicadas.

- Estudiantes de Ingeniería Mecatrónica y Electrónica. Universidad Autónoma de Occidente.
- Departamento de operación y mantenimiento de EMCALI E.I.C.E E.S.P - planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino.
- Operarios de mantenimiento.
- Área de automatización y control.

3.1.7. Necesidades de la empresa. A continuación se mostrara las necesidades de la empresa respecto a la red de comunicación. Ver tabla 19.

Tabla 19. Necesidades de la empresa.

PLANTEAMIENTO DEL CLIENTE	PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD
Las variables obtenidas por los instrumentos no son analizadas de una manera segura.	Implementar un sistema confiable para la supervisión y análisis.
Se observa que algunas variables tienen que ser leídas desde el sitio donde se instalo el equipo de medición.	El se debe tener la facilidad de ser monitoreada desde un cuarto de control, para conocer la eficiencia del tratamiento y realizar ajustes para mejoras en la producción.
Existe un riesgo de lesiones personales en algunas operaciones.	Los métodos de análisis y monitores brindaran seguridad al personal.
Para comunicar las variables del proceso, a otras secciones toca llamar a buscar el operario	Las variables del proceso tiene que ser conocidas en forma continua y en diferentes ubicaciones
Toca desarrollar manualmente reporte de los mantenimientos de los registros de equipos y materia prima	A través de la red se puede crear unos registros para la planificación de los mantenimientos de Los equipos y la materia prima
Hay tiempos muertos al operador al salir a dar la ronda de toma de datos para la dosificación química.	La información pertinente en el puesto de trabajo y disponibilidad de manuales
Se debe hacer un buen uso de los equipos existentes en la planta y la comunicación a través de ellos	Seleccionar el mejor protocolo y proponer un configuración adecuada para los equipos existentes en la planta
Puerto Mallarino no cuenta con una red entre controladores y computadores de gestión	Estandarización de los subprocesos de la planta
Aprovechar la infraestructura y la tecnología existente en la planta	Identificar el mejor tipo de red aplicada para la planta
No existe buena documentación actualizada de planos y manuales	Cumplimiento con las normas como la ISA y P&ID
El sistema contara con planos P&ID	Dar soporte técnico
Los protocolos de comunicación deben cumplir con su respectiva norma	La red debe de cumplir con sus elementos físicos y su norma ISO adecuados para el buen funcionamiento
El sistema tendrá una larga durabilidad	Sistema robusto

3.1.8. Planteamiento de las necesidades enumeradas. A continuación se mostrara las necesidades de la empresa con el grado de importancia para cada una, (5) es el valor mas alto, (1) el valor mas bajo. Ver tabla 20.

Tabla 20. Planteamiento de las necesidades enumeradas.

NÚMERO	NESECIDADES	IMPOR.
1	Implementar un sistema confiable para la supervisión y análisis.	4
2	El se debe tener la facilidad de ser monitoreada desde un cuarto de control, para conocer la eficiencia del tratamiento y realizar ajustes para mejoras en la producción.	3
3	Los métodos de análisis y monitores brindaran seguridad al personal.	2
4	Las variables del proceso tiene que ser conocidas en forma continua y en diferentes ubicaciones	3
5	A través de la red se puede crear unos registros para la planificación de los mantenimientos de Los equipos y la materia prima.	4
6	la información pertinente en el puesto de trabajo y disponibilidad de manuales	4
7	Seleccionar el mejor protocolo y proponer un configuración adecuada para los equipos existentes en la planta	3
8	Estandarización de los subprocesos de la planta	4
9	Identificar el mejor tipo de red aplicada para la planta	4
10	Cumplimiento con las normas como la ISA y P&ID	4
11	Dar soporte técnico	3
12	La red debe de cumplir con sus elementos físicos y su norma ISO adecuados para el buen funcionamiento	5
13	Sistema robusto	4

3.1.9. Especificaciones de métricas y unidades. Luego de realizar un estudio de las necesidades identificadas previamente para encontrar parámetros cuantificables que sirva de guía para la red de comunicación. Ver tabla 21.

Tabla 21. Especificaciones de métricas y unidades.

NUMERO METRI.	NECESIDAD RELACIONADA	METRICA	UNIDAD	IMPOR.
1	3	seguridad	alta/baja	4
2	13	ciclo de vida	años	5

Continuación tabla 21. Especificaciones de métricas y unidades.

3	1,2,4,5,7	tiempo de muestreo	ms.	4
4	5,7,12,6	plan de mantenimiento	Días Semanas Meses	5
5	8,10,12,9	estandarización	Si/no	5
6	5	consumo de materias primas	PPM mg/L	5
7	1,2,4,5,11	precisión	%	5
8	12	normas	Si/no	5

3.1.10. Relación de las métricas. Relación de las métricas con su respectiva necesidad. Ver tabla 22.

Tabla 22. Relación de las métricas con su respectiva necesidad.

		METRICAS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
N E C E S I D A D E S	1			X				X	
	2			X				X	
	3	X							
	4			X				X	
	5			X	X		X	X	
	6				X				
	7			X	X				
	8					X			
	9					X			
	10					X			
	11							X	X
	12				X	X			
	13		X						

3.1.11. Benchmarking. En el benchmarking se analiza con relación a las satisfacciones de las necesidades del cliente con respecto a la competencia como es la planta de potabilización del municipio de Roldadillo y Acuaviva S.A. E.S.P. Ver tabla 23.

- Las características que contamos son:

- **Planta de potabilización del municipio de Roldanillo:** Se diseñó un sistema de automatización que permite cubrir necesidades como medición de parámetros analíticos, dosificación de químicos y visualización de variables aprovechando la plataforma tecnológica existente.

- **Acuaviva S.A. E.S.P:** Cuenta con una red de supervisión, control y administración de datos (scada), que permite una supervisión constante y flexible del proceso de potabilización de agua por un operario. A través de esta aplicación se puede hacer modificaciones en los sistemas de control, permitiendo optimizar dicho proceso.

Tabla 23. Benchmarking

NUM ERO	NECESIDAD	IMP	ROLD ANILL O VALLE	ACUA VIVA S.A. E.S.P	EMCA LI E.I.C.E E.S.P (Puerto Mallari no)
1	Implementar un sistema confiable para la supervisión y análisis.	4	xxx	xxx	x
2	El se debe tener la facilidad de ser monitoreada desde un cuarto de control, para conocer la eficiencia del tratamiento y realizar ajustes para mejoras en la producción.	3	xxx	xxx	x
3	Los métodos de análisis y monitores brindaran seguridad al personal.	2	xxx	xxxx	xx
4	Las variables del proceso tiene que ser conocidas en forma continua y en diferentes ubicaciones	3	xxx	xxxx	x
5	A través de la red se puede crear unos registros para la planificación de los mantenimientos de Los equipos y la materia prima.	4			x
6	la información pertinente en el puesto de trabajo y disponibilidad de manuales	4	xxx	xxx	x
7	Seleccionar el mejor protocolo y proponer un configuración adecuada para los equipos existentes en la planta	3	xx	xxx	x
8	Estandarización de los subprocesos de la planta	4	xxx	xxx	x
9	Identificar el mejor tipo de red aplicada para la planta	4	xxx	xxx	x
10	Cumplimiento con las normas como la ISA y P&ID	4	xx	xxx	x
11	Dar soporte técnico	3	xxx	xxxx	xx
12	La red debe de cumplir con sus elementos físicos y su norma ISO adecuados para el buen funcionamiento	5	xxx	xxxx	xx
13	sistema robusto	4	xxx	xxxxx	xxxx

3.1.12. Evaluar las medidas con los competidores. Se analiza las medidas de los competidores con las nuestras, hay que tener en cuenta que hay espacios en blanco y esta medida no aplica ya que no se tiene suficiente información. Ver tabla 24.

Tabla 24. Evaluar las medidas con los competidores

NUMERO METRI.	METRICA	IMPOR	UNIDAD	ROLDADILLO VALE	ACUAVIVA S.A. E.S.P	EMCALI E.I.C.E E.S.P (Puerto Mallarino)
1	Seguridad	4	Alta/baja	ALTA	ALTA	ALTA
2	Ciclo de vida	5	Años	2	4	4
3	Tiempo de muestreo	4	ms.			
4	Plan de mantenimiento	5	Días meses	4	6	1
5	Estandarización	5	Si/no	SI	SI	NO
6	Consumo de materias primas	5	PPM mg/L			
7	Precisión	5	%	100	100	40
8	Normas	5	Si/no	SI	SI	NO

3.1.13. Generación de conceptos.

Tabla 25. Valor métrico asignado.

Grado de correlación entre RC y CT	Símbolo utilizado	Valor numérico asignado
Muy correlacionados	⊙	9
Correlacionados	○	3
Poco correlacionados	△	1
Sin correlación	Blanco	0

3.1.14. QFD. El despliegue de la función de la calidad: Quality Function Deployment (QFD), es relacionado comúnmente con “la voz de los clientes”, es un proceso que asegura que los deseos y las necesidades de los clientes sean traducidos en características técnicas. Símbolos utilizados en la matriz de la calidad. Ver tabla 25. En la siguiente tabla se vera la casa de la calidad (QFD). Ver tabla 26. QFD.

Tabla 26. QFD

QFD	IMP.	SEGURIDAD	CICLO DE VIDA	TIEMPO DE MUESTRO	MANTENIMIENTO	estandarización	consumo	precisión	normas	ROLD ADILL	ACUAVVAS
Implementar un sistema confiable para la supervisión y análisis.	4			○				○		xxx	xxx
El se debe tener la facilidad de ser monitoreada desde un cuarto de control, para conocer la eficiencia del tratamiento y realizar ajustes para mejoras en la producción.	3			⊗				△		xxx	xxx
Los métodos de análisis y monitores brindaran seguridad al personal.	2	⊗						△		xxx	xxxx
Las variables del proceso tiene que ser conocidas en forma continua y en diferentes ubicaciones	3			○				⊗		xxx	xxxx
A través de la red se puede crear unos registros para la planificación de los mantenimientos de Los equipos y la materia prima.	4			△	⊗		○	○			
la información pertinente en el puesto de trabajo y disponibilidad de manuales	4				○					xxx	xxx
Seleccionar el mejor protocolo y proponer un configuración adecuada para los equipos existentes en la planta	3			⊗	○					xx	xxx
Estandarización de los subprocesos de la planta	4					⊗				xxx	xxx
Identificar el mejor tipo de red aplicada para la planta	4									xxx	xxx
Cumplimiento con las normas como la ISA y P&ID	4					⊗				xx	xxx
Dar soporte técnico	3									xxx	Xxxx
La red debe de cumplir con sus elementos físicos y su norma ISO adecuados para el buen funcionamiento	5				○	○		△	⊗	xxx	xxxx
sistema robusto	4		○			△				xxx	xxxxx
unidades		A/B	años	SEG	M	S/N	PPM	%	S/N		
Ponderación total (%)	18	12	67	50	55	12	61	45			

3.1.15. Asociación de los valores marginales e ideales. Identificación de los valores marginales e ideales. Ver tabla 27.

Ver tabla 27. Valores marginales e ideales

NUMERO METRI.	NECESIDAD RELACIONADA	METRICA	UNIDAD	IMPOR.	Valor marginal	Valor ideal
1	3	seguridad	alta/baja	4	bajo	alto
2	13	ciclo de vida	años	5	5	Menor que 15
3	1,2,4,5,7	tiempo de muestreo	ms.	4	1	5
4	5,7,12,6	plan de mantenimiento	Meses días	5		
5	8,10,12,9	estandarización	Si/no	5	no	si
6	5	consumo de materias primas	PPM mg/L	5	±20	±150
7	1,2,4,5,11	precisión	%	5		
8	12	normas	Si/no	5	No	si

3.1.16. Clarificación del problema. Para poder clarificar el problema debemos seguir los siguientes pasos.

3.1.17. Descripción del problema. La planta de tratamiento de agua de Puerto Mallarino no existe un medio que garantice la adquisición y visualización de variables analíticas implícitas en la potabilización del agua para a sus usuarios finales en el centro de control de EMCALI.

3.1.18. Necesidades. A continuación se dan referencia de las necesidades a Satisfacer:

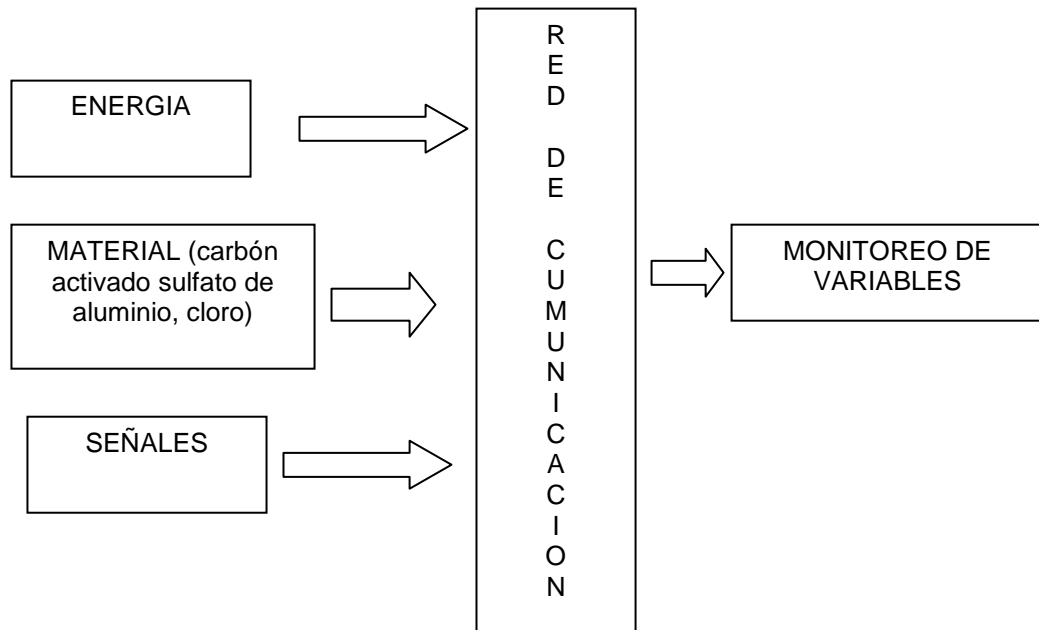
- Se necesita monitorear continuamente los elementos de medición.
- Tener una tendencia histórica del sistema.
- Será compatible con los sistemas de medición existentes.
- Dispositivo con larga vida útil y soporte técnico.
- Permite visualizar la información en Tiempo real.
- Dispositivo autónomo y de fácil mantenimiento.
- No aumentará la carga administrativa y operativa de la empresa.
- Los datos deben ser confiables.
- Sistema de notificación de alarmas.

3.1.19. Especificaciones. Los valores dados a continuación en las especificaciones son preliminares por lo cual durante el transcurso del desarrollo del proyecto pueden variar, dichos valores son:

- Vida útil: 10 años.
- Margen de error en los datos: $\pm 0.1 \%$.
- Manejo de PLC marca Allen-Bradley.
- Buses de campo Devicenet y Modbus.

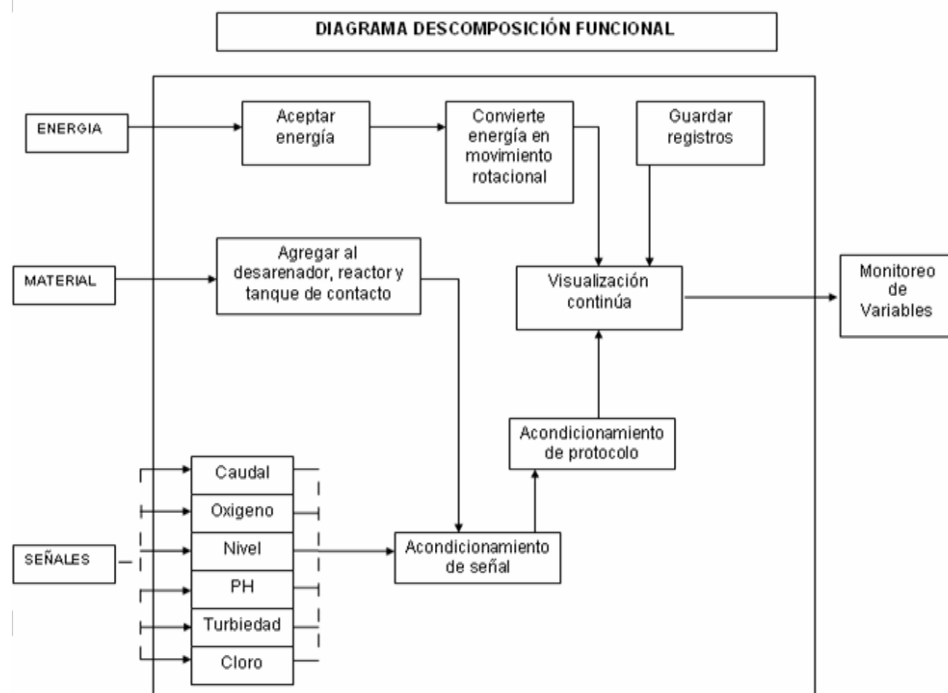
3.1.20. Descomposición funcional. En la caja negra se anuncia de manera general las entradas del sistema y las salidas, con el fin de dividir el problema en sub. Problemas como se observa en el diagrama. Ver figura 51.

Figura 51. Diagrama caja negra



3.1.21. Diagrama de descomposición funcional. Descomposición de sub.-problemas. Luego de hacer la caja negra se procede con la descomposición del problema en sub.-sistemas logrando descubrir las funciones de cada elemento para lograr la función principal. Ver figura 52.

Figura 52. Diagrama de descomposición funcional



3.1.22. Búsqueda externa. En esta parte del estudio nos concentramos en buscar las soluciones existentes en el mercado para el problema general y para los sub-problemas y a su vez las ideas que se generan dentro del grupo de trabajo para este mismo fin.

La búsqueda de soluciones alternativas la realizamos desde dos puntos de vista como lo son: Tecnología dispuesta en el mercado, y antecedentes de dispositivos ya implementados.

3.1.23. Antecedentes de dispositivos ya implementados.

- **Planta de potabilización del municipio de Roldanillo:** Se diseñó un sistema de automatización que permite cubrir necesidades como medición de parámetros analíticos, dosificación de químicos y visualización de variables aprovechando la plataforma tecnológica existente.
- **Acuaviva S.A. E.S.P:** Cuenta con una red de supervisión, control y administración de datos (scada), que permite una supervisión constante y flexible del proceso de potabilización de agua por un operario. A través de esta aplicación se puede hacer modificaciones en los sistemas de control, permitiendo optimizar dicho proceso. Ver figura 53.

Figura 53. Interfaz grafico scada.



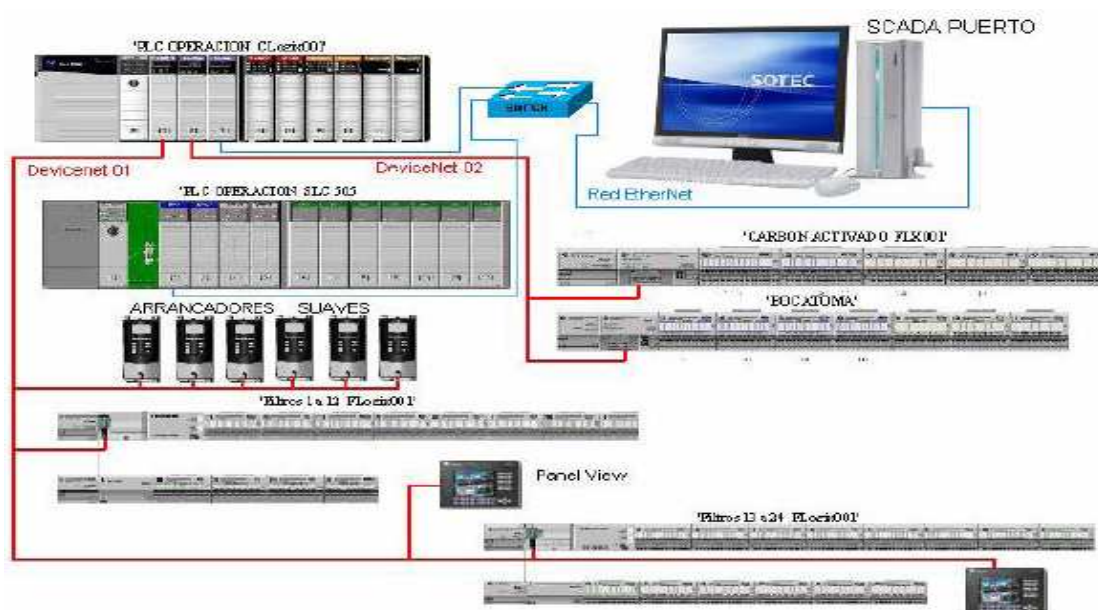
Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de de la planta de potabilización de agua de Palmira ACUAVIVA. Santiago de Cali, 2007. 1 Archivo de computador.

3.1.24. Tecnología dispuesta en el mercado. La tecnología que hoy se encuentra en el mercado es de gran variedad, pero en nuestro caso se

necesita que cumpla con las necesidades del cliente (EMCALI E.I.C.E E.S.P.) Que requiere la selección de la red de comunicación. En conclusión el mercado ofrece mucha variedad de instrumentación, métodos, comunicación, etc. Para lograr una optimización en el proceso tenemos en cuenta la búsqueda interna la cual nos acerca más a la solución.

3.1.25. Búsqueda interna. Se encontró por la experiencia de los ingenieros de EMCALI E.I.C.E E.S.P. y se planteo la implementación de un PLC controllogix que estará ubicado en sala de operación comunicado por una red ethernet al PLC SLC 505 y a un sistema SCADA RS View para la supervisión y control de los diferentes procesos de la planta que se conectaran por dos redes devicenet una conectada al Flex I/O del Carbón Activado y Bocatoma, la otra conectada a los arrancadores de los motores del desarenador y a los Flex I/O de los filtros antiguos y nuevos. Cada uno del los Flex I/O de los filtros tendrá un panel view en el sitio, para supervisar y controlar las diferentes variables que se tienen en el sistema de filtración y así poder realizar el lavado de una forma automática. Ver figura 54.

Figura 54. Estrategia planteada por los ingenieros de EMCALI E.I.C.E E.S.P.

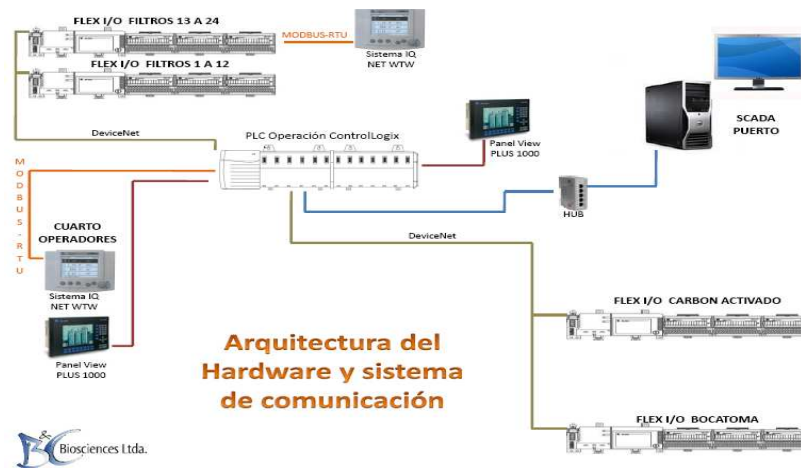


CONCEPTO (A)

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Se planteo por una empresa de automatización la siguiente arquitectura para el problema pero evaluándolo con el ingeniero tobon se tiene problemas que mas adelante y por medio de la selección de concepto se evaluara. Ver figura 55.

Figura 55. Estrategia 2.

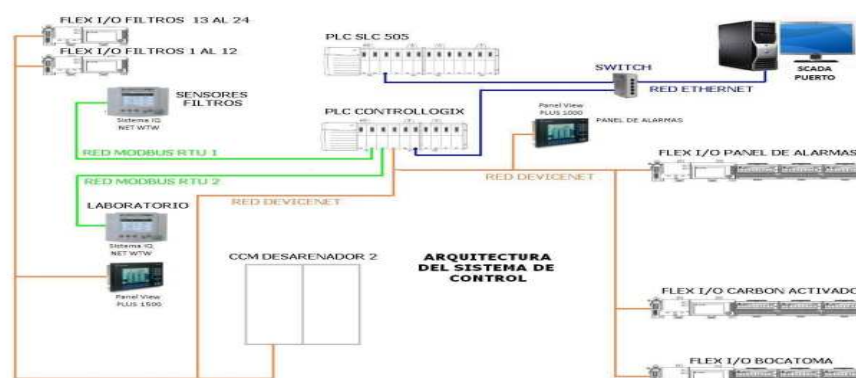


CONCEPTO (B)

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Se encontró por la experiencia del ingeniero tobon, **SAP.AUTOMATIZACIÓN** y por una directriz que la empresa (**EMCALI E.I.C.E E.S.P**) maneja es trabajar con equipos Allen Bradley (**ROCKELL AUTOMATION**) que es mas fácil trabajar con un protocolo Devicenet que los otros existente en el mercado, y por que la empresa ya tiene unos equipos ya comprados ,se llego a una solución para el problema de que garantice la adquisición y visualización de variables analíticas implícitas en la potabilización de agua esta en la siguiente figura .ver figura 56.

Figura 56. Estrategia 3.

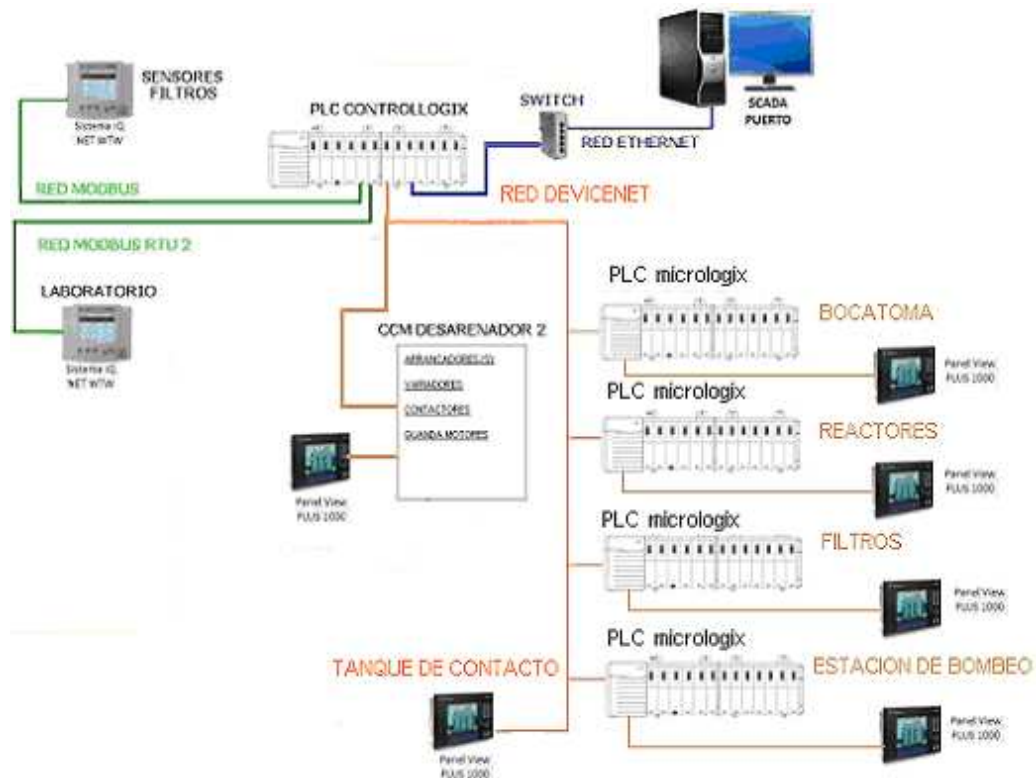


CONCEPTO(C)

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

Se planteo por los autores la siguiente arquitectura para la solución del problema y será analizada en la generación de conceptos. Ver figura 57.

Figura 57. Diseño por los autores.



CONCEPTO (D)

Fuente: TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

3.1.26. Generar conceptos de solución. Con la búsqueda de generar buenos conceptos para la solución de un sub-problema obteniendo un resultado más preciso y directo.

- **Tipo de tecnología de automatización:**
 - Controladores PLC.
 - PC.
- **Por cobertura de red:**
 - Red de área local (Lan). Ver anexo A.
 - Red de área amplia (Wan). Ver anexo B.
- **Tipo de nivel físico de la red comunicación :**
 - Cable coaxial. Ver anexo C.

- Cable de par trenzado. Ver anexo D.
- Fibra óptica. Ver anexo E.
- Radio.
- Infrarrojos.
- Microondas.
- Redes inalámbricas.

- Tipo de operación:
 - Remota.
 - Local.

- Por Topología de red:
 - Red de bus . Ver anexo J.
 - Red de estrella. Ver anexo K.
 - Red de anillo (o doble anillo). Ver anexo G.
 - Red en malla (o totalmente conexa) .Ver anexo I.
 - Red en árbol .Ver anexo H.
 - Red Mixta (cualquier combinación de las anteriores).

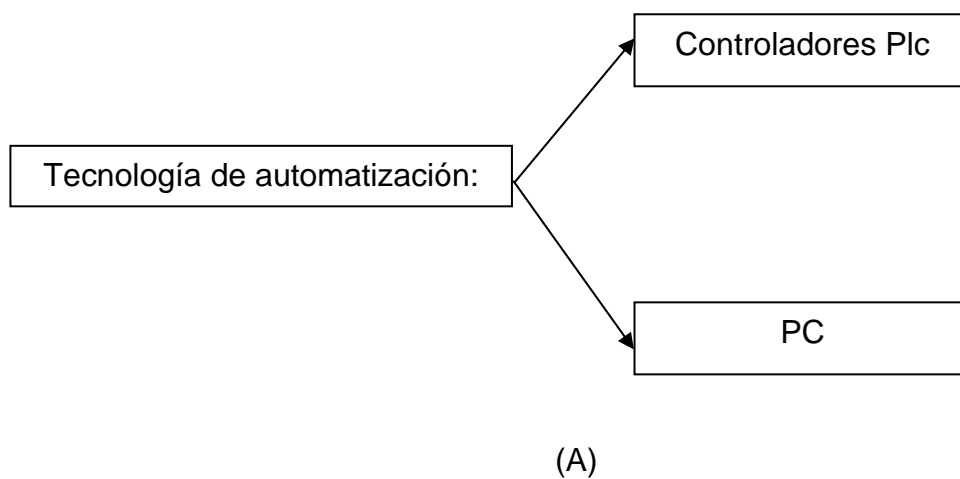
- Por buses de campo:
 - Profibus.
 - Devicenet.
 - Foundation fieldbus.
 - Modbus.
 - Controlnet.

- Por buses de gestión:

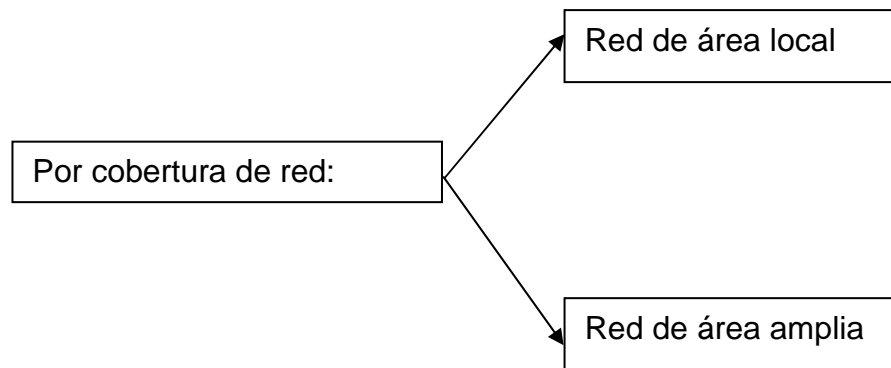
- Ethernet.
- Profibus.
- Control net.
- Modbus.
- Visualización de variables.
- Indicadores análogos.
- Indicadores digitales.
- Touch panel.

3.1.27. Árbol de clasificaciones. Con los anteriores conceptos planteados de sub-funciones críticos se llegó al árbol de clasificaciones brindando una idea mas clara de los sub-problemas. Ver figuras 58.

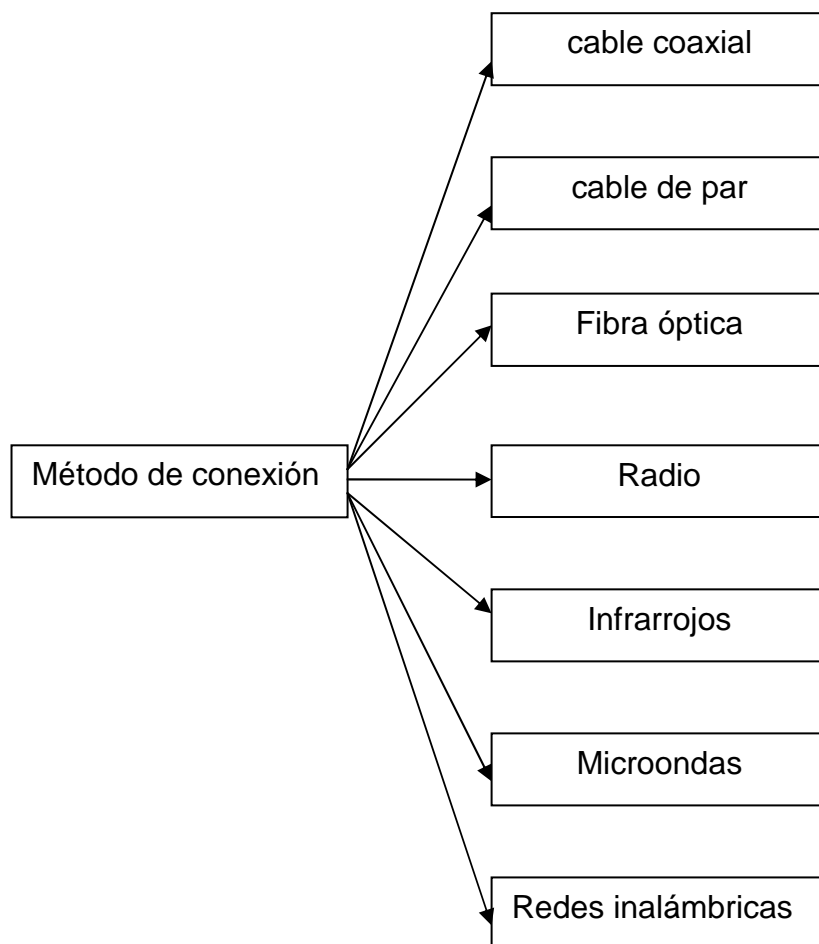
Figura 58. Árbol de clasificaciones.



Continuación figura 58. Árbol de clasificaciones.

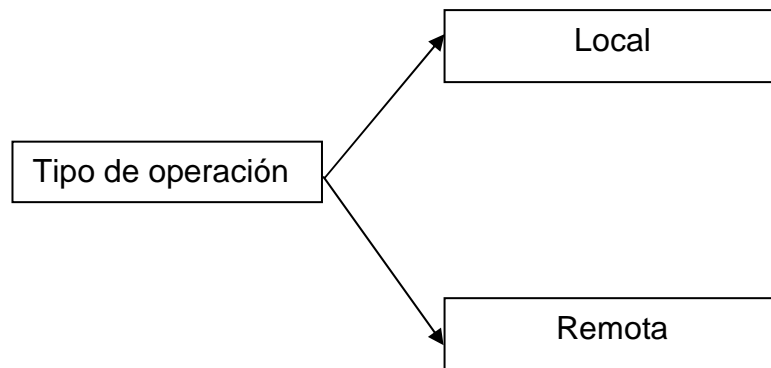


(B)

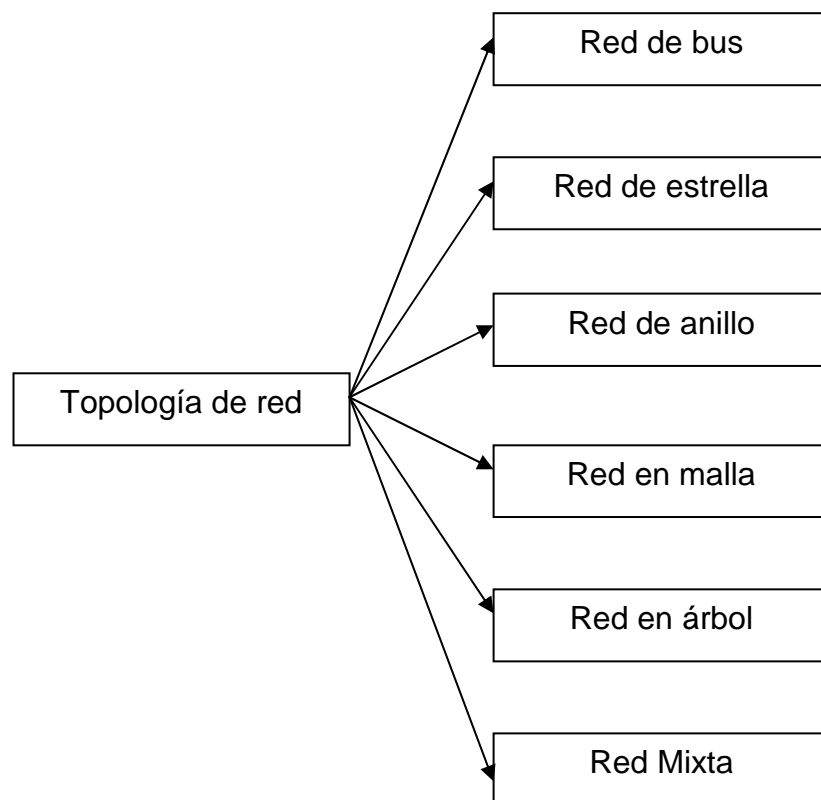


(C)

Continuación figura 58. Árbol de clasificaciones.

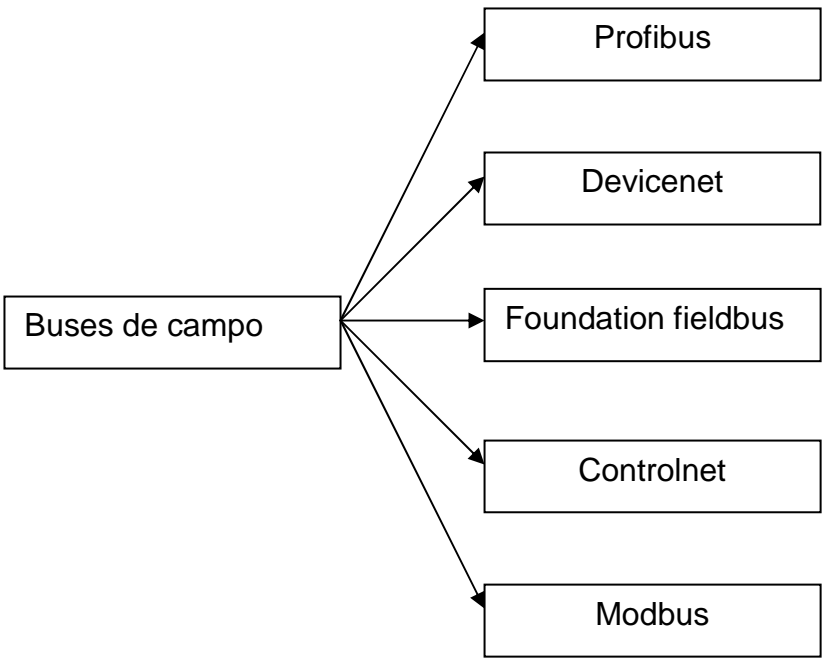


(D)

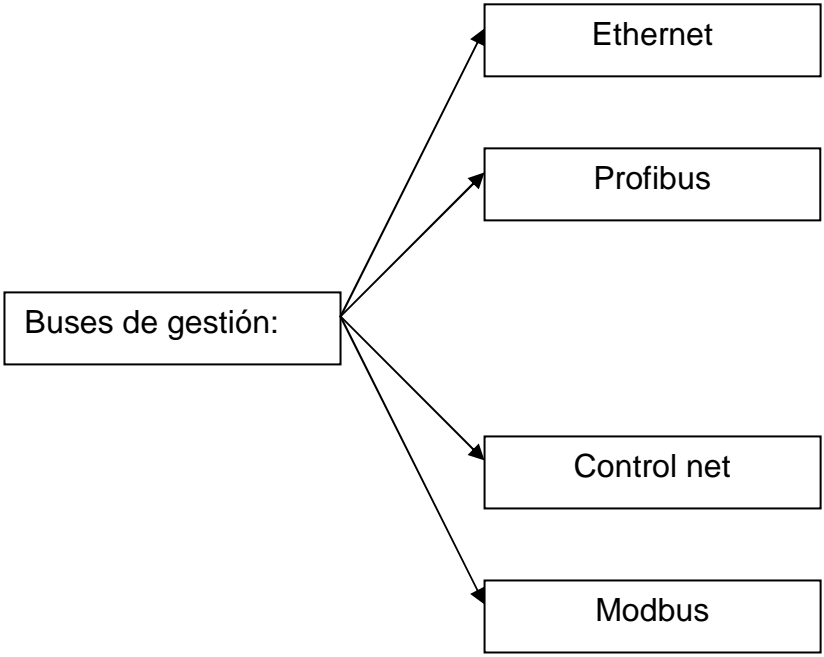


(E)

Continuación figura 58. Árbol de clasificaciones.

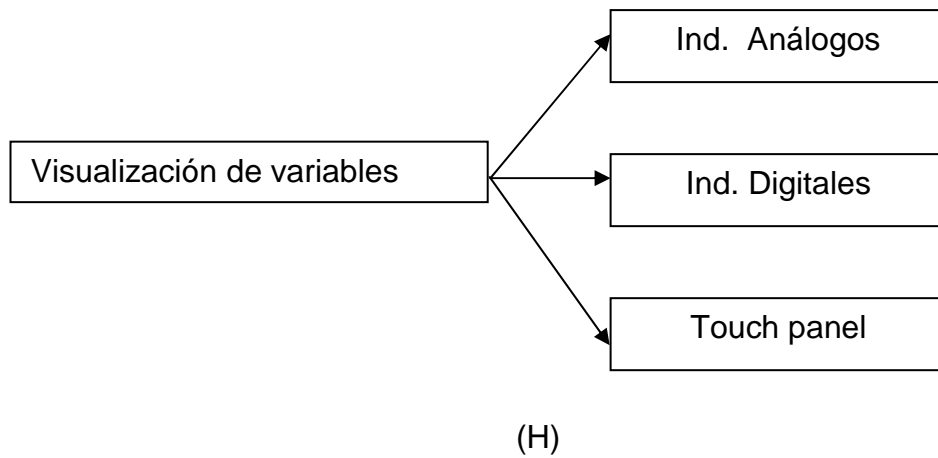


(F)



(G)

Continuación figura 58. Árbol de clasificaciones.



3.1.28. Combinación de conceptos. Gracias a la combinación de conceptos se Pueden identificar las posibles combinaciones de soluciones para los Sub-problemas y obtener una solución.

Para este caso cada uno de los conceptos generados tienen las mismas alternativas de solución por lo cual no existen combinación de conceptos si no que son soluciones lineales, esto se ve más detenidamente a continuación. Ver figura 59.

Figura 59. Combinación de concepto.

AUTOM.	RED	CONEX.	OPER.	TOPOL.	B. CAMPO.	B. GESTIO.	VISUALIZ
PLC	LOCAL	Coaxial	Remota	Bus	Profibus	Ethernet	Análogos
PC	AMPLIA	Trenzado	Local	Estrella	Devicenet	Profibus	Digitales
		F óptica		Anillo	F. fieldbus	Controlnet	T. panel
		Radio		Malla	Modbus	Modbus	
		Infrarrojos		Árbol	Controlnet		
		Microondas		Mixta			
		Inalámbrica					

CONCEPTO (A)

Continuación de figura 59. Combinación de concepto.

AUTOM.	RED	CONEX.	OPER.	TOPOL.	B. CAMPO.	B. GESTIO.	VISUALIZ.
PLC	LOCAL	Coaxial	Remota	Bus	Profibus	Ethernet	Análogos
PC	AMPLIA	Trenzado	Local	Estrella	Devicenet	Profibus	Digitales
		F óptica		Anillo	F. fieldbus	Control net	T. panel
		Radio		Malla	Modbus	Modbus	
		Infrarrojos		Árbol	Controlnet		
		Microondas		Mixta			
		Inalámbrica					

CONCEPTO (B)

Continuación de figura 59. Combinación de concepto.

AUTOM.	RED	CONEX.	OPER.	TOPOL.	B. CAMPO.	B. GESTIO.	VISUALIZ
PLC	LOCAL	Coaxial	Remota	Bus	Profibus	Ethernet	Análogos
PC	AMPLIA	Trenzado	Local	Estrella	Devicenet	Profibus	Digitales
		F óptica		Anillo	F. fieldbus	Control net	T. panel
		Radio		Malla	Modbus	Modbus	
		Infrarrojos		Árbol	Controlnet		
		Microondas		Mixta			
		Inalámbrica					

CONCEPTO (C)

Continuación de figura 59. Combinación de concepto.

AUTOM.	RED	CONEX.	OPER.	TOPOL.	B. CAMPO.	B. GESTIO.	VISUALIZ
PLC	LOCAL	Coaxial	Remota	Bus	Profibus	Ethernet	Análogos
PC	AMPLIA	Trenzado	Local	Estrella	Devicenet	Profibus	Digitales
		F óptica		Anillo	F. fieldbus	Control net	T. panel
		Radio		Malla	Modbus	Modbus	
		Infrarrojos		Árbol	Controlnet		
		Microondas		Mixta			
		Inalámbrica					

CONCEPTO (D)

3.1.29. Selección de conceptos. La matriz de tamizaje es la herramienta con la cual se brinda la comparación de conceptos con relación a la de referencia, dicha decisión es tomada por las necesidades del cliente y criterio del estudiante. Ver tabla 28.

- Los criterios seleccionados son los siguientes:

- **Durabilidad:** Tiempo de vida útil del proyecto.
- **Fácil de manejar:** Que el sistema sea de fácil entendimiento al personal de operación.
- **Compatibilidad con instrumentos actuales:** Que la nueva tecnología acople de manera fácil de igual manera las condiciones para protocolos en futuro.
- **Tiempo de muestreo:** Es el tiempo que cada instrumento es monitoreado para conocer sus variables.
- **Estandarización:** Es la seguridad del cumplimiento de los rangos establecidos por la empresa y normas de calidad.
- **Mantenimiento:** Rango de tiempo en que al instrumento se le realiza una verificación de estado mecánico, eléctrico, neumático, hidráulico logrando hacer calibraciones. Evitando los percances de tiempo muerto.
- **Precisión de las variables medidas:** Calidad de la señal transmitida por los instrumentos.
- **Fácil de manufacturar:** Materiales de bajo costo y bajo complejidad de partes.

Tabla 28. Selección de conceptos.

CRITERIO DE SELECCION	CONCEPTO (A)	CONCEPTO (B)	CONCEPTO (C)	CONCEPTO (D)
Durabilidad	O	O	O	0
Fácil de manejar	-	+	+	+
Compatibilidad (instrumentos)	-	-	+	+
Tiempo de muestreo	O	O	O	0
Estandarización	O	-	+	+
Mantenimiento	-	O	+	+
Precisión	+	+	+	+

Continuación tabla 28. Selección de conceptos.

Fácil de manufacturar	-	-	O	-
Suma +	1	2	5	5
Suma 0	2	3	3	2
Suma -	4	3	0	1
Puntuación neta	-3	-1	5	4
rango	4	3	1	2
¿Continúa?	NO	NO	SI	SI

En la anterior tabla se observa que cada concepto tiene una calificación correspondiente al criterio de selección, estas significan:

- +: Mejor que
- 0: Igual que
- -: Peor que

3.1.30. Calificación de concepto. A continuación se observa la suma ponderada de las calificaciones para determinar el rango del concepto, en la columna de calificación el diseñador (estudiante) a asignado un puntaje que se explica en la tabla 29.

Tabla 29. Puntuación del concepto.

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Fuente: ULRICH, Karl. Diseño y desarrollo de productos enfoque multidisciplinario. 3 ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. p. 120.

Tabla 30. Calificación de concepto.

		CONCEPTO (A)		CONCEPTO (C)		CONCEPTO (D)	
CRITERIO DE SELECCION	PESO	CALIFICACION	PUNTUACION PONDERADA	CALIFICACION	PUNTUACION PONDERADA	CALIFICACION	PUNTUACION PONDERADA
Durabilidad	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Fácil de manejar	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Compatibilidad (Instrumentos)	5%	2	0.1	3	0.15	3	0.15
Tiempo de muestreo	5%	2	0.1	3	0.15	3	0.15
Estandarización	25%	2	0.5	3	0.75	3	0.75
mantenimiento	20%	4	0.8	4	0.8	3	0.20
precisión en las variables medidas	15%	2	0.3	3	0.45	3	0.45
fácil de manufacturar	10%	1	0.1	4	0.4	3	0.3
Puntuación neta		2.5		3.3		2.6	
rango		4		1		2	
¿Continúa?		NO		SI		SI	

3.1.31. Diseño detallado. El diseño detallado se encuentra en el capítulo 4 con las figuras P&ID.

3.2. CONCLUSIÓN DEL CAPITULO

- Al implementar el método de ingeniería concurrente se logro identificar las verdaderas necesidades del cliente (EMCALI E.I.C.E E.S.P.) por que es la parte integral en la fase de desarrollo dando como resultado la guía para establecer las especificaciones de una manera jerárquica, brindando un canal de información de alta calidad para el proceso y asegurando un enfoque a las necesidades.
- El propósito de la ingeniería concurrente es aclarar el problema y descomponerlo en sub. problemas más simples mediante una búsqueda externa e interna reflejando soluciones del proceso por medio del cumplimiento de los pasos aprendidos en el método de ingeniería concurrente.

4. ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN ENTRE CONTROLADORES Y COMPUTADORES DE GESTIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE PUERTO MALLARINO EMCALI E.I.C.E E.S.P.

Con las consideraciones del capítulo anterior se analizará el problema que tiene la planta de Puerto Mallarino. Este consiste en la selección de la red de comunicación entre controladores y computadores de gestión, teniendo cuenta los siguientes parámetros:

- Nivel físico de la red de comunicación industrial que sea confiable, eficaz y eficiente.
- Seleccionar el mejor bus de campo aplicado a los equipos existentes a la planta.
- Proponer una red en donde se garantice la automatización remota de los subprocesos de la planta.
- Proponer una configuración adecuada que cumpla con los equipos.
- Plantear las variables más importantes en los subprocesos.
- Nivel físico de la red de comunicación industrial que sea confiable, eficaz y eficiente.
- Planteamiento propuesto por los autores.
- Se escogió el cable par trenzado por que en la arquitectura que se diseñó hay una parte de control y por tal motivo el nivel físico de Devicenet es el cable par trenzado. Aquí se debe tener en cuenta las distancias de los subprocesos hacia la estación de control. Ver anexo L.
- Seleccionar el mejor bus de campo aplicado a los equipos existentes a la planta.

Por la existencia de equipos en funcionamiento en la planta y cumpliendo con las premisas y las restricciones del capítulo anterior, el bus de campo a utilizar tendrá que ser entre Devicenet y Controlnet. En la siguiente tabla se muestra un paralelo entre estos buses de campo mostrando así sus características principales. Ver tabla 31.

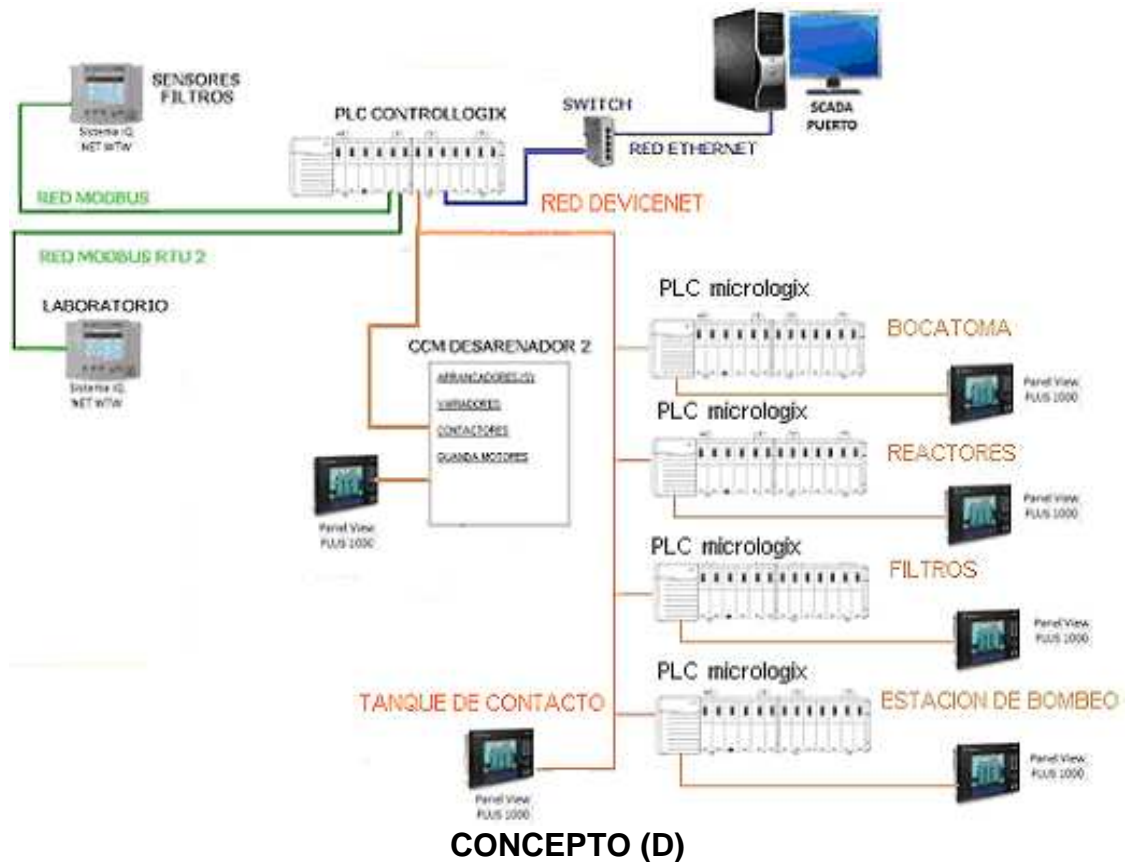
Tabla 31. Paralelo entre Devicenet y Controlnet.

	DEVICENET	CONTROLNET
Gestion o control	Gestión y control	Gestión y control
Multi-maestro o mono - maestro	Maestro/esclavo Punto a punto	Punto a punto
Velocidad de transmision	500 kbps	5Mbps
Cantidad de nodos	64 nodos	99 nodos(vía taps)
Topologia	Bus-estrella	bus, árbol
Distancia	125 kbps – 500m 250 kbps – 250m 500 kbps – 100m	5 Mbps – 100m 500 kbps – 5 km

Con la tabla anterior se observa que Controlnet tiene mayor velocidad de transmisión pero posee una gran desventaja y es que no esta soportado por muchos fabricantes, Controlnet maneja controladores muy complejos y resulta de elevado precio por nodo, se ha utilizado para interconexión de redes de PLC y computadores industriales en aplicaciones de alta velocidad y ambientes muy críticos, sin embargo se utilizara Decivenet que es una red de monitoreo y mandos teniendo en cuenta que sin importar que Controlnet tenga mayores velocidades a mayores distancias se utilizara Devicenet porque suple las especificaciones requeridas del capitulo anteriores para la planta Puerto Mallarino Emcali.

- Proponer una red en donde se garantice la automatización remota de los subprocesos de la planta. Ver figura 60.

Figura 60. Arquitectura propuesta por los autores.



La anterior arquitectura propuesta por los autores fue analizada con sus parámetros respectivos como concepto D en la evaluación de conceptos que se encuentra descrita en el capítulo anterior, en los que la Durabilidad, la Facilidad de manejo, la Compatibilidad con los instrumentos actuales en planta, el tiempo de muestreo, la Estandarización, el Mantenimiento, la Precisión de las variables medidas, la facilidad de manufacturar., se hacen referencia a los criterios de evaluación.

- Proponer una configuración adecuada que cumpla con los equipos

Identificación de salidas de equipos de medición analíticas que se encuentran en planta Puerto Mallarino.

- **WTW:** Equipo electrónico multiparamétrico. Equipo básico que incluye un terminal y controlador con comunicación Modbus – RTU.
- **Analizador de Ph (GLI modelo 53):** Salidas análogas: El analizador tendrá dos aisló 0/4-20 Ma.
- **Analizador de turbiedad:** Salidas análogas: El analizador tendrá dos. 0/4-20 salidas mA análogas.

➤ **Analizador de cloro:** Salidas análogas: Salidas del Registrador: Una salida de registrador aislada, 4-20 mA (puede ser ajustada a 0-20 mA). Impedancia de carga recomendada 3.6 a 500 ohmios.

➤ **SLT32 nivel:** Salidas análogas: 4-20mA, entrada de energía de CA.

- Planteamiento de las variables más importantes en los subprocesos.

El proceso de potabilización pesé diversas variables que requieren ser analizadas. Es por eso que previamente se desarrolló un análisis detallado que permitió mayor claridad de las variables implícitas en cada uno de los subprocesos, este análisis arrojó los siguientes datos. Ver tabla 32.

Tabla 32. Variables relevantes en el proceso de potabilización.

SUBPROCESO	VARIABLES IMPLÍCITA EN EL PROCESO
Captación	<ul style="list-style-type: none"> • Oxígeno • PH • Turbiedad • Nivel
Desarenación	
Coagulación Floculación Desarenación	<ul style="list-style-type: none"> • PH • Turbiedad • Caudal
Filtración	<ul style="list-style-type: none"> • Cloro residual • Aluminio residual
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel • Cloro residual
Bombeo	<ul style="list-style-type: none"> • Presión • Cloro residual • PH • Turbiedad • Caudal

4.1. CONCLUSIÓN DEL CAPITULO

- Por una directriz que maneja la empresa (EMCALI E.I.C.E E.S.P.) de trabajar con equipos Allen Bradley (Rockwell automation) se limitan la solución de problemas por ligarse a una sola marca.

5. GENERAR LOS ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN Y PLANOS DE PROCESO ACTUALIZADOS

5.1. CONVENCIONES PARA LOS MANDOS SOBRE EL HMI

Los “HMI” son las formas en que los operarios van a conocer cada paso del proceso como también el valor de sus variables por lo cual debe de ser muy fácil de entender.

5.2. MANUAL DE USUARIO PARA MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

La siguiente pantalla es el inicio del sistema de supervisión en la que el operador si lo desea ira a cualquier parte del proceso. Ver figura 61.

Figura 61. Pantalla de inicio.



➤ **Botonera de la pantalla de inicio:** Si el operador le da “click” en cualquier parte de los botones esta ira a la pantalla que le corresponde. Ver figura 62.

Figura 62. Botonera de inicio.

BOCATOMA	Botón para ir a la bocatoma.
DESARENADOR	Botón para ir al desarenador.
REACTOR	Botón para ir a los reactores.
FILTROS	Botón para ir a los filtros.
T/ DE CONTACTO	Botón para ir al tanque de contacto.
E/BOMBEO	Botón para ir a la estación de bombeo.

➤ **Botonera de la pantalla de bocatoma:** Al hacer “click” en bocatoma el operador visualizara la siguiente pantalla en la. Ver figura 63.

Figura 63. Pantalla de inicio.

BOMBA 1

REMOTO - LOCAL

STOP START

RESET

TEMPERATURA COGINETE SUPERIOR

TEMPERATURA COGINETE INFERIOR

VOLTAGE

CORRIENTE

POTENCIA

FLUJO DE AGUA

BAJO - MEDIO - ALTO

TEMPERATURA RODAMIENTO INTERNO

TEMPERATURA RODAMIENTO EXTERNO

ALARMAS PARA LA BOMBA 1

Alarm Summary				

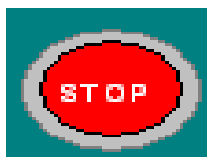
- Selector para poner el control en remoto o local. Ver figura 64.

Figura 64. Control en remoto o local.



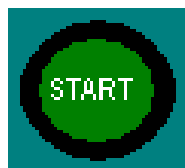
- Botón de stop para parar el motor de la bomba. Ver figura 65.

Figura 65. Botón de stop.



- Botón de start para arrancar el motor de la bomba Ver figura 66.

Figura 66. Botón de start.



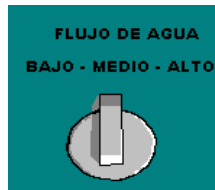
- Botón de reset para resetear el sistema Ver figura 67.

Figura 67. Botón de reset.



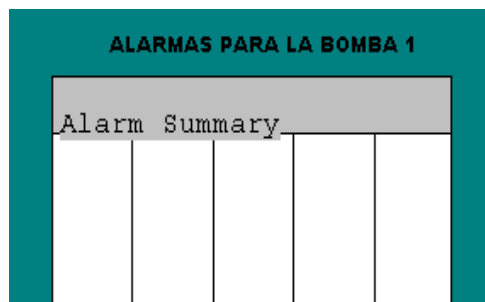
- Selector para regular el flujo de agua dependiendo la hora. Ver figura 68.

Figura 68. Selector de flujo.



- Panel de alarmas. El programador asigna por software en las cuales son.
 - ❖ Por temperatura (por alto y por bajo).
 - ❖ Voltaje (desbalance).
 - ❖ Corriente (desbalance).
 - ❖ Lubricación (motores). Ver figura 69.

Figura 69. Panel de alarmas bomba 1.



- Botón para ir al a bomba 5 y 6. Ver figura 70.

Figura 70. Bomba 5 y 6.



- Botón para ir al a bomba 3 y 4. Ver figura 71.

Figura 71. Bomba 4 y 3.



- Botón para ir al reactor. Ver figura 72.

Figura 72. Reactor.

REACTOR

- Botón para ir al desarenador. Ver figura 73.

Figura 73. Desarenador

DESARENADOR

- Botón para ir a los filtros. Ver figura 74.

Figura 74. Filtros

FILTROS

- Botón para ir al tanque de contacto. Ver figura 75.

Figura 75. Tanque de contacto

T/ DE CONTACTO

- Botón para ir a la estación de bombeo. Ver figura 76.

Figura 76. Estación de bombeo

E/BOMBEO

- Para las bombas 1, 2, 3,4 se le estará censando las siguientes variables. Ver figura 77.

Figura 77. Variables para la bomba 1, 2, 3, 4.

TEMPERATURA COGINETE SUPERIOR

TEMPERATURA COGINETE INFERIOR

VOLTAGE

CORRIENTE

POTENCIA

TEMPERATURA RODAMIENTO INTERNO

TEMPERATURA RODAMIENTO EXTERNO

- Para las bombas 5,6 que no tiene acople magnético ni variador de velocidad, es decir que su arranque es directo y constante. Solo se le medirá la siguiente. Ver figura 78.

Figura 78. Variables para la bomba 5, 6.

TEMPERATURA COGINETE SUPERIOR

TEMPERATURA COGINETE INFERIOR

VOLTAGE

CORRIENTE

POTENCIA

➤ **Botonera de la pantalla de desarenador.** Al hacer “click” en el desarenador el operador visualizara la siguiente pantalla en la. Ver figura 79.

Figura 79. Pantalla del desarenador.



El desarenador consta de 14 motores con su respectiva pantalla de control que consta de start, stop, reset como se muestra en las figuras 64 ,65 ,66.

- Para el sistema este en lavado se muestra el siguiente indicador. Ver figura 80.

Figura 80. Indicador de lavado.



- Para cuando esta en bombeo se mostrara el siguiente indicador. Ver figura 81.

Figura 81. Indicador de bombeo.



- En esta pantalla el operario estará siguiendo el amperaje de los motores de bombeo. Ver figura 82.

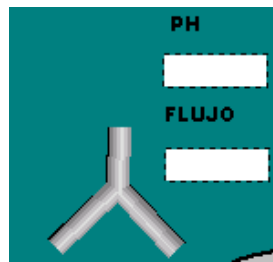
Figura 82. Amperaje.



En esta pantalla el operario visualizara el menú para los demás pantallas como se indica en las figuras 71, 72, 73, 74, 75.

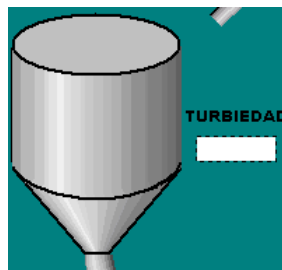
- **Pantalla del reactor.** En la cadica (cámara distribuidora de caudales) como se indica en la figura se mide PH, flujo. Ver figura 83.

Figura 83. Indicador de PH y flujo



- En los reactores se mide turbiedad como se indica en la figura. Ver figura 84.

Figura 84. Indicador de turbiedad.



- Panel de alarmas. El programador asigna por software en las cuales son:
 - ❖ Por PH (por alto y por bajo).
 - ❖ Flujo (por alto y por bajo).
 - ❖ Turbiedad. ver figura 84.

Figura 85. Panel de alarmas reactores.

ALARMAS DE LOS REACTORES				
Alarm Summary				

En esta pantalla el operario visualizara el menú para los demás pantallas como se indica en las figuras 71, 72, 73, 74, 75.

➤ **Pantalla de los filtros.** En los filtros se indica las siguientes medidas:

- Nivel .ver figura 86.

Figura 86. Indicador de nivel



- Cloro residual. ver figura 87.

Figura 87. Indicador de cloro residual.



- Turbiedad. ver figura 88.

Figura 88. Indicador de turbiedad.



- Aluminio residual. ver figura 89.

Figura 89. Indicador de Aluminio residual.



- Panel de alarmas. El programador asigna por software en las cuales son:

- ❖ Nivel (por alto y por bajo).
- ❖ Cloro residual.
- ❖ Turbiedad.
- ❖ Aluminio residual. Ver figura 90.

Figura 90. Panel de alarmas filtros.

ALARMAS DE LOS FILTROS				
Alarm Summary				

En esta pantalla el operario visualizara el menú para los demás pantallas como se indica en las figuras 71, 72, 73, 74, 75.

➤ **Pantalla del tanque de contacto.** En el tanque de contacto se indica las siguientes medidas:

- Nivel. Ver figura 91.

Figura 91. Indicador de nivel.



- PH. Ver figura 92.

Figura 92. Indicador de PH.



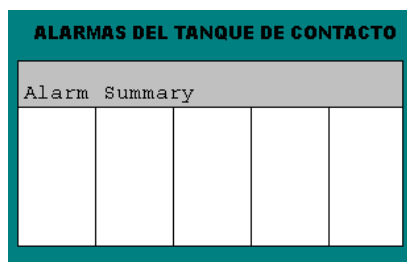
- Cloro residual. Ver figura 93.

Figura 93. Indicador de cloro residual.



- Panel de alarmas. El programador asigna por software en las cuales son:
 - ❖ Nivel (por alto y por bajo)
 - ❖ Cloro residual
 - ❖ Turbiedad
 - ❖ PH. Ver figura 94.

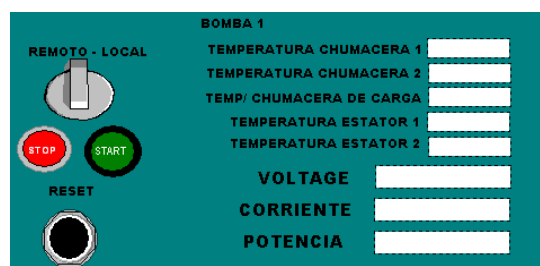
Figura 94. panel de alarmas tanque de contacto.



En esta pantalla el operario visualizara el menú para los demás pantallas como se indica en las figuras 71, 72, 73, 74, 75.

➤ **Pantalla de la estación de bombeo.** Estación de bombeo consiste en nueve motores que su panel de control esta dado por la siguiente figura. Ver figura 95.

Figura 95. Pantalla de inicio para la bomba 1.



Su botonera consiste en.

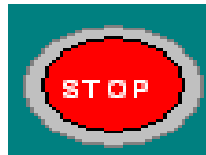
- Selector para poner el control en remoto o local. Ver figura 96.

Figura 96. Control en remoto o local.



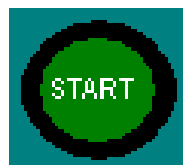
- Botón de stop para parar el motor de la bomba. Ver figura 97.

Figura 97. Botón de stop.



- Botón de Star para arrancar el motor de la bomba. Ver figura 98.

Figura 98. Botón de Start.



- Botón de reset para resetear el sistema. Ver figura 99.

Figura 99. Botón de reset



- Para las bombas se le estará censando las siguientes variables. Ver figura 100.

Figura 100. Variables censadas.

TEMPERATURA CHUMACERA 1	<input type="text"/>
TEMPERATURA CHUMACERA 2	<input type="text"/>
TEMP/ CHUMACERA DE CARGA	<input type="text"/>
TEMPERATURA ESTATOR 1	<input type="text"/>
TEMPERATURA ESTATOR 2	<input type="text"/>
VOLTAGE	<input type="text"/>
CORRIENTE	<input type="text"/>
POTENCIA	<input type="text"/>

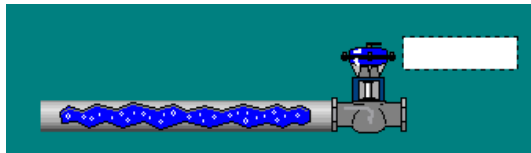
- Panel de alarmas. El programador asigna por software en las cuales son:
 - ❖ Por temperatura (por alto y por bajo)
 - ❖ Voltaje (desbalance)
 - ❖ Corriente (desbalance)
 - ❖ Lubricación (motores)
 - ❖ Posición de la válvula de 4 salida
 - ❖ Estado de bombeo
 - ❖ Presión de salida. Ver figura 101.

Figura 101. Panel de alarmas estación de bombeo.

ALARMAS DE LA ESTACION DE BOMBEO				
Alarm Summary				

- Posición del actuador.
- ❖ Si esta en (1) esta abierto el actuador
- ❖ Si esta en (0) esta cerrado el actuador. Ver figura 102.

Figura 102. Posición del actuador.



- Cada transmisión se le censa lo siguiente. Ver figura 103.

Figura 103. Variables censadas.

TRANSMISION NORTE	
FLUJO	<input type="text"/>
PRESION	<input type="text"/>

Continuación figura 103. Variables censadas

TRANSMISION SUR	
FLUJO	<input type="text"/>
PRESION	<input type="text"/>

TRANSMISION ORIENTAL	
FLUJO	<input type="text"/>
PRESION	<input type="text"/>

5.3. CONCLUSIÓN DEL CAPITULO

Por medio del “HMI” se le Brinda a un proceso las opciones de confiabilidad, monitoreo, decisión, registros, versatilidad, ajustes, etc. Reduciendo significativamente las pérdidas.

6. CONCLUSIONES

- Con el estudio teórico del proceso se puede concluir que la potabilización de agua es uno de los procesos más complejos en el que interactúan numerosas variables internas como externas. En el proceso están incluidas las normas que exige el ministerio de salud en Colombia y que se cumplen a cabalidad para excelentes resultados.
- Con el estudio detallado del proceso de potabilización de agua que se realiza en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E, se pudo analizar que el método utilizado en Puerto Mallarino es eficiente y eficaz por que cumple con los estándares de calidad impuesto por la organización mundial de la salud.
- Actualmente la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. tiene una deficiencia en el proceso de potabilización de agua por lo que el 40% de la instrumentación actual y existente en Puerto Mallarino no está en buen funcionamiento, y el 60% restante está en funcionamiento.
- El propósito de la investigación planteada en este trabajo demuestra la realización del estudio detallado de toda la instrumentación que interactúa en el proceso de potabilización de agua en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E, permitiendo la implementación del método de ingeniería concurrente.
- Se realizaron diagramas P&ID actualizados en donde se puede ver la instrumentación existente de los diferentes subprocesos de la planta Puerto Mallarino.
- Se dio a conocer el estado, ubicación y función de cada uno de los sensores utilizados en instrumentación analítica de la planta Puerto Mallarino.
- Al implementar el método de ingeniería concurrente se logro identificar las verdaderas necesidades del cliente (EMCALI e.i.c.e e.s.p.) por que es la parte integral en la fase de desarrollo dando como resultado la guía para establecer las especificaciones de una manera jerárquica, brindando un canal de información de alta calidad para el proceso y asegurando un enfoque a las necesidades.
- El propósito de la ingeniería concurrente es aclarar el problema y descomponerlo en sub. problemas más simples mediante una búsqueda externa e interna reflejando soluciones del proceso por medio del cumplimiento de los pasos aprendidos en el método de ingeniería concurrente.
- Por una directriz que maneja la empresa (EMCALI E.I.C.E E.S.P.) de trabajar con equipos Allen Bradley (ROCKELL AUTOMATION) se limitan la

solución de problemas por ligarse a una sola marca.

- Por medio del “HMI” se le Brinda a un proceso las opciones de confiabilidad, monitoreo, decisión, registros, versatilidad, ajustes, etc. Reduciendo significativamente las pérdidas.

7. RECOMENDACIONES

Realizar capacitaciones a los operarios para tener un buen conocimiento en instrumentación industrial y metrológica.

BIBLIOGRAFÍA

Catarina [en línea]. México: Universidad ameritas, 2007. [Consultado 02 de Agosto de 2007]. Disponible en Internet:

<http://www.edu/UA/universidad/ameritas.com.mx>

COLOMBIA.. Decreto 1575 DE 2007 (Mayo 9). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano [en línea]. Bogotá D.C.: Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2007 [Consultado 20 de agosto de 2008]. Disponible en internet:

http://basedoc.superservicios.gov.co/basedoc/decreto_nacional.shtml?x=63315

CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. Madrid: Marcombo, 1979. 357 p.

GARCIA MORENO, Emilio. Automatización de procesos industriales. México DF: Alfa omega, 2001. 380 p.

LÓPEZ DÍAZ, José. Norma ANSI/ISA para instrumentos. 6 ed. México D.C.: Thomson, 2003. 456 p.

MEDRANO RINCON, Héctor. Sistema de monitoreo y calidad y macromedición para una planta de tratamiento de agua. Bogota: Biosciences LTDA, 2005. 45 p.

ORTIZ ROSAS, Adolfo. Manual HMI DEMO. Santiago de Cali, 2008. 1 archivo de computador.

PÁEZ, Álvaro. Simbología e interpretación de instrumentos en diagrama de flujo e Instrumentación (PID). Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

ROMERAL, José Luis. Autómatas programables. México: Marcombo, 1997. 456 p.

SWITH, Carlos. Control Automático de Procesos. México: Limusa S.A., 1991. 276 p.

TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 Archivo de computador.

TOBON, Luis ángel. Manual de operación de de la planta de potabilización de agua de Palmira ACUAVIVA. Santiago de Cali, 2007. 1 Archivo de computador.

ULRICH, Karl t. Diseño y desarrollo de productos enfoque multidisciplinario. 3 ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. 253 p.

VILORIA ROLDAN, José. Automatismos y cuadros eléctricos. 3 ed. Bogotá: Paraninfo, 2001, 365 p.

ANEXOS

Anexo A. Formato IFAC

IMPLEMENTACION DEL METODO DE INGENIERIA CONCURRENTENTE PARA LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN ENTRE CONTROLADORES Y COMPUTADORES DE GESTIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE PUERTO MALLARINO EMCALI E.I.C.E E.S.P.

Julio Cesar Echeverry Paz
Julián Hernando Obando Sánchez

e-mail kulio_82@hotmail.com
e-mail jotat14@hotmail.com

Universidad Autónoma de Occidente, Km 2 Cali – Jamundi, Valle del Cauca, Colombia

Abstract: En este documento se muestra todo el proceso que se requirió para finalmente deducir la red de comunicación entre controladores y computadores de gestión en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino EMCALI, aquí se hizo una recomendación sobre el tipo de protocolo y la interfaz que se debe utilizar para visualizar todas las variables intrínsecas en los subprocesos de potabilización de agua.

Keywords: HMI, P&ID, PLC, CONCURRENTENTE, COMUNICACIONES, REDES, POTABILIZACION, BENCHMARKETING, DEVICENET, CONTROLNET.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se llevo a cabo en el departamento del Valle del Cauca en la ciudad de Cali, con ayuda de la empresa EMCALI Puerto Mallarino, especialmente con el departamento instrumentación. Por lo que se realizó un método basado en la ingeniería concurrente para la selección de la red de comunicación entre controladores y computadores de gestión, buscando obtener sea confiable, eficaz y eficiente. En la planta de Puerto Mallarino no existe un medio que garantice la adquisición y visualización de variables analíticas implícitas en la potabilización del agua para sus usuarios finales en el centro de control de EMCALI.

Continuando con el estudio se identifican los objetivos específicos que son:

- Realizar el estudio del proceso de la potabilización del agua.
- Establecer un diagnostico técnico detallado de toda la instrumentación

del proceso (mecánica, electrónica, eléctrica hidráulica, neumática).

- Implementar el método de ingeniería concurrente para la selección de la red de comunicación.
- Generar los planos P&ID actualizados del proceso.
- Elaborar el manual de usuario para mantenimiento y operación

1.0. ESTUDIO DEL PROCESO DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.

El agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible). Al mejorar el acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la salubridad del agua potable sea mayor posible y EMCALI hace que esto sea efectivo para la población caleña. EMCALI se ha dedicado por décadas a prestar el mejor servicio a Cali y para ello hay una dependencia de acueducto en la

que se dedican a analizar las variables importantes en el estudio del proceso de potabilización de agua y se encuentra que son: pH, color, colide, turbiedad, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, dureza, alcalinidad, conductividad y nitratos. Los anteriores nombrados son variables claves para llegar a una excelente calidad del agua pura y además de eso EMCALI sigue rigurosamente las normas establecidas por la organización mundial de la salud.

1.1. INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DEL AGUA.

1.1.1. Captación.

En la bocatoma se produce la captación de agua cruda para el proceso. es una captación de tipo lateral cuyo diseño y construcción fueron hechos para captar el caudal nominal de la planta (11.2 m3/seg.).

1.1.2. Desarenador.

Se busca que materiales de gran masa como piedras, arena, arenilla sean sedimentadas.

1.1.3. Coagulación y floculación.

La coagulación y Floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar.

1.2. NORMATIVIDAD DEL PROCESO.

La norma legal que rige el proceso de potabilización del agua en Colombia es el Decreto 1575 de 2007 que expidió el ministerio de salud. A nivel intencional se siguen los parámetros entregados por la OMS (organización mundial de salud) sobre la calidad del agua potable. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Características físicas. El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación. Ver tabla 1.

Valores admisibles en las características Físicas del agua. **Tabla 1.**

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Fuente COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Decreto 1575 DE 2007 (Mayo 9). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano [en línea]. Bogotá D.C. [Consultado 20 de agosto de 2008]. Disponible en internet :http://basedoc.superservicios.gov.co/basedoc/decreto_nacional.shtml?x=63315

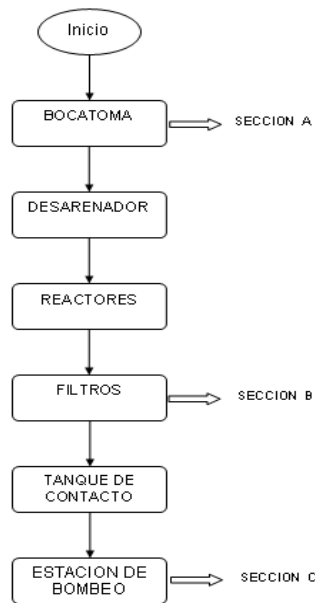
Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. **Tabla 2.**

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN-	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Decreto 1575 DE 2007 (Mayo 9). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano [en línea]. Bogotá D.C. [Consultado 20 de agosto de 2008]. Disponible en internet :http://basedoc.superservicios.gov.co/basedoc/decreto_nacional.shtml?x=63315

Diagrama de flujo del proceso. Ver figura 1.

Figura 1. Flujo del proceso.



2. DIAGNOSTICO TÉCNICO DETALLADO DE TODA LA INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO (MECÁNICA, ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA HIDRÁULICA, NEUMÁTICA).

2.1. ESTUDIO DETALLADO DEL BOCATOMA.

2.1.1. Parte eléctrica.

- Centro de control de motores de 4160 V de las bombas de agua cruda.
- Paneles de control de los acopladores magnéticos.
- Transformador para alumbrado.

2.1.2. Parte mecánica.

- 1 rastrillo.
- 4 bombas centrífugas de eje vertical y velocidad variable (0.5 m³/seg.- 1.5 m³/seg. cada una).
- 2 bombas centrífugas a régimen total (2,6 m³/seg. cada una).

2.1.3. Motores 1, 2, 3, 4.

Cada unidad de bombeo está conformada por un motor, una bomba y un acoplador

magnético. En el caso de la bomba número dos se tiene un variador de frecuencia en cambio de un acoplador magnético. El motor es trifásico de 450 HP y 590 RPM, funciona con un voltaje de 4160 V y una corriente de 65 A y es refrigerado por aire.

2.1.3.1. Acoplador Magnético.

Parte complementaria del motor es el acoplador magnético EC, cuya función es la de poder operar las bombas a velocidades deseadas y por tanto obtener caudales deseados, es decir que el conjunto funciona como un sistema de flujo variable.

2.1.3.2. Bomba.

La bomba es de flujo mixto, de una etapa y eje vertical, para pozo seco, con una capacidad cada una de 1.5 m³/seg. y una cabeza de 15.25m[3].

2.2. ESTUDIO DETALLADO DEL DESARENADOR.

El paso del agua hasta los desarenadores se produce primero a través de un sifón de 36" de diámetro, uno para cada bomba, cuya principal función es la de proteger la bomba contra el golpe de ariete y eliminar la válvula de cheque y de mariposa que en otras condiciones sería necesario usar. Lógicamente para que haya flujo el codo del sifón debe estar más alto que el nivel máximo del agua en el desarenador.

Rejillas para remoción de basuras.

El sistema de remoción de basuras está conformado por cuatro rejillas de disco tipo giratorio de 4,9 m de diámetro con una malla de acero inoxidable con aberturas de 5/16". Del diámetro total del disco, solo 2.3 m trabajan constantemente sumergidos. La capacidad de cada rejilla es de 1,25 m³/seg.

Sistema de desagüe.

El sistema de evacuación de material desarenado, puede hacerse por gravedad o por bombeo. Para hacer posible lo anterior, cada desarenador está provisto en su fondo de una tubería en anillo, perforada, para la aplicación de agua a presión cuyo objetivo es mantener en suspensión las partículas que hayan sedimentado para así facilitar su salida.

2.3. ESTUDIO DETALLADO DE LOS REACTORES.

Continuando con la secuencia del flujo, de los desarenadores el agua pasa luego a los reactores, en cuyo trayecto se han dispuesto las facilidades necesarias para la aplicación de cloro, cal primaria y el coagulante.

El sitio donde se distribuyen los caudales hacia los reactores se ha identificado como cadica (cámara distribuidora de caudales), cadica 1 (reactores a y b) cadica 2 (reactores b y c) y en él se encuentran dos vertederos de cresta delgada, uno para cada reactor, que permiten la medición del caudal del agua cruda de acuerdo con las variaciones de la lámina de agua sobre la cresta de los mismos.

2.4. ESTUDIO DETALLADO DE LOS FILTROS.

El agua clarificada de cada reactor es llevada, por medio del canal perimetral, a cámaras de carga desde donde sale una tubería de 66 pulgadas diámetro en el caso de los reactores B, C, y D y 60 pulgadas de diámetro en el caso del reactor A para entregar ambas en el canal de distribución de los filtros.

La filtración es llevada a cabo por veinticuatro (24) filtros rápidos de flujo descendente, con lecho múltiple de grava, arena y antracita. Dichos filtros trabajarán a rata declinante, es decir que el caudal filtrado por un filtro, irá disminuyendo a medida que dicho filtro se vaya colmatando.

2.5. ESTUDIO DETALLADO DEL TANQUE DE CONTACTO.

La función principal es el incremento del tiempo de contacto de cloro con el agua, condición que garantiza una mejor desinfección y por consiguiente una mejor calidad bacteriológica del producto.

De acuerdo al caudal de diseño (6.6 m³/seg.) y considerando su capacidad de almacenamiento (aproximadamente 24.000 m³, incluyendo tramo de llagada y salida de agua filtrada. Las variaciones de nivel en las cisternas no son tan bruscas, debido a que el volumen aportado por el tanque de contacto, también sirve de almacenamiento, pasando la capacidad de 3.030 m³ a 27.000 m³ aproximadamente. Al permanecer las cisternas con un nivel más

constante, las bombas de agua tratada operan mejor y al tener un nivel de función sin tanta variación, hay economía de energizar en el bombeo.

2.6. ESTUDIO DETALLADO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA TRATADA

2.6.1. Parte eléctrica.

La conforman los sistemas de excitación y alimentación eléctrica de los motores y de la alimentación y control de las válvulas de mariposa de cada bomba.

2.6.2. Parte mecánica.

La conforman: nueve bombas de eje vertical de dos etapas cada una, las válvulas de retención, las de mariposa y el sistema contra el golpe de ariete. Ver figura 37.

2.6.3. Bombas para agua tratada.

Cada unidad de bombeo está conformada por un motor y una bomba.

2.6.4. Motor.

Los motores de las bombas son de diferentes marcas: Hitachi (bomba 1, 2 y 4), Toshiba (bombas 3, 7 y 8), Louise Allis (bomba 5), Moteurs Alsthon (bomba 6) y ABB (bomba 11); sincrónicos, de eje vertical con una potencia de 1250 HP y 900 RPM, funciona con un voltaje de $4160 \pm 10\%$ voltios y una corriente de 171 amperios. La refrigeración del motor se hace por aire.

2.6.5. Bomba.

El sistema de bombeo de agua tratada está conformado por 6 bombas Byron Jackson y 3 bombas EBARA, todas de eje vertical de 2 etapas, tipo turbina auto lubricado. Las características de placas son: Caudal 1.2 metros³/segundo y cabeza 64m.

2.7. ESTUDIO DETALLADO DE LA SUB-ESTACIONES ELÉCTRICAS.

2.7.1. SUB-ESTACIÓN ELÉCTRICA N° 1.

En esta se encuentran, además de los mandos de las bombas de agua tratada, dos

transformadores generales, cada uno de los cuales tiene capacidad para alimentar toda la planta transformando la alimentación general de 34.500 V a 4.160 V.

2.7.2. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA N° 2.

Esta subestación está conformada por dos transformadores los cuales al igual que en las otras subestaciones, uno es de reserva sin que ello implique que no puedan operar simultáneamente.

2.8. ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES.

Debido a la localización de la planta, el desagüe final de la misma no puede hacerse por gravedad sino por bombeo. Por lo anterior los desagües de toda la planta son llevados a una estación de bombeo denominada estación de bombeo de aguas residuales. Este sistema está conformado por cuatro bombas de eje vertical de una etapa, con una capacidad de 650 Ls (10300 GPM) y una cabeza de 10 m (34 pies) para máxima eficiencia. Estas bombas descargan el agua a una cámara de carga desde donde por gravedad, sale hacia el río.

2.9. DOSIFICACIÓN QUÍMICA.

El sistema de dosificación de sustancias químicas fue diseñado para un rango de variación en la producción de la planta entre 1.6 m3/segundo y 12 m3/segundo. Los equipos de dosificación son elementos de operación sencilla y fácil de mantenimiento y operación, a continuación veremos mas en detalle cada uno de los componentes químicos que se agregan al proceso del agua.

29.1. Dosificación del coagulante

Como elemento de coagulación se ha previsto el uso de sulfato de aluminio (alumbre) aplicado en solución, sin que esto signifique descartar la posibilidad de usar otro tipo de coagulante (sulfato férrico) con las debidas precauciones.

2.9.2. Dosificación de la cal.

El principal objetivo de la cal es estabilizar el pH (entre 8 y 8.5) para el consumo humano.

2.9.3. Dosificación del cloro.

Los tanques de almacenamiento que son utilizados son los carrotanques en los que son transportados con una capacidad de 20 toneladas. Estando en el lugar adecuado se procede a realizar las conexiones respectivas para empatar el cloro a la red. La función principal del cloro es la desinfección del agua cruda.

2.9.4. Dosificación carbón activado.

Debido a que el alto grado de contaminación de las aguas del río cauca, deterioran más la calidad de agua, se llevo a cabo la aplicación en forma continua de carbón activado, con el fin de atrapar olores y sabores al agua cruda.

2.10. PLANOS (MECÁNICOS, ELÉCTRICO, ELECTRÓNICOS, HIDRÁULICO, NEUMÁTICO).

Figura 2.
P&ID sesión A

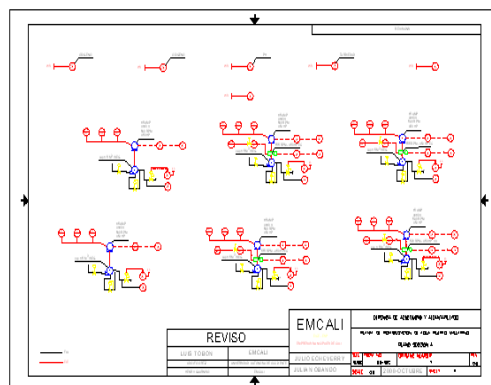


Figura 3.
P&ID sesión B

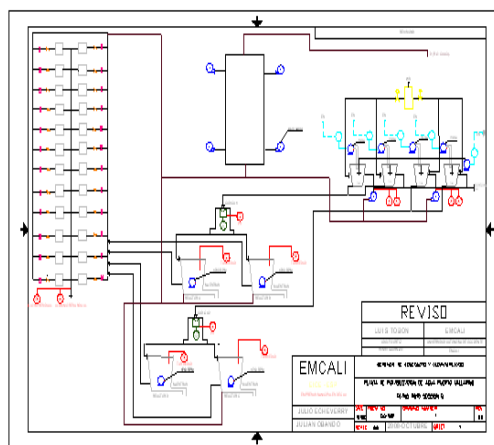
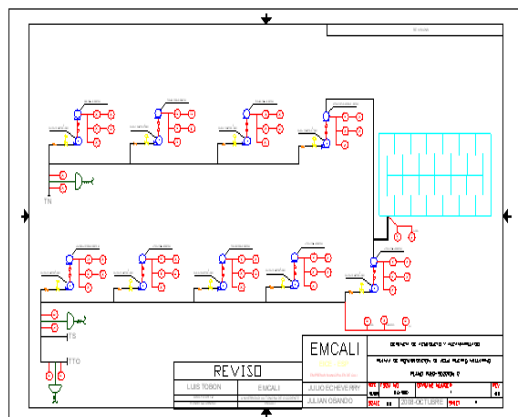


Figura 4
P&ID session C



3. IMPLEMENTACION DEL MÉTODO DE INGENIERÍA CONCURRENTES PARA LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN.

Con la ejecución del método de ingeniería concurrente se identifican las soluciones antes los posibles problemas por medio de una serie de pasos [4].

Para cumplir con el objetivo de la ejecución del método de ingeniería concurrente se tuvo en cuenta las necesidades del cliente.

3.1. Planteamiento de las necesidades del cliente.

- Implementar un sistema confiable para la supervisión y análisis.
- El se debe tener la facilidad de ser monitoreada desde un cuarto de control, para conocer la eficiencia del tratamiento y realizar ajustes para mejoras en la producción.
- Los métodos de análisis y monitores brindaran seguridad al personal.
- Las variables del proceso tiene que ser conocidas en forma continua y en diferentes ubicaciones
- A través de la red se puede crear unos registros para la planificación de los mantenimientos de Los equipos y la materia prima
- La información pertinente en el puesto de trabajo y disponibilidad de manuales
- Seleccionar el mejor protocolo y proponer un configuración adecuada para los equipos existentes en la planta

- Estandarización de los subprocesos de la planta
- Identificar el mejor tipo de red aplicada para la planta
- Cumplimiento con las normas como la ISA y P&ID.
- Dar soporte técnico
- La red debe de cumplir con sus elementos físicos y su norma ISO adecuados para el buen funcionamiento.
- Sistema robusto

3.2. Especificación de métricas y sus unidades.

Los parámetros especificados en la tabla 1, son cuantificables y brindan una guía para el diseño de automatización, permitiendo un acercamiento ante las necesidades del proyecto. Ver tabla 3.

Tabla 3.

# METRI.	NECESIDAD RELACIONADA	METRICA	UNIDAD	IMPOR.
1	3	seguridad	alta/baja	4
2	13	ciclo de vida	años	5
3	1,2,4,5,7	tiempo de muestreo	ms.	4
4	5,7,12,6	plan de mantenimiento	Días Semanas Meses	5
5	8,10,12,9	estandarización	Si/no	5
6	5	consumo de materias primas	PPM mg/L	5
7	1,2,4,5,11	precisión	%	5
8	12	normas	Si/no	5

3.3. Benchmarking.

En el benchmarking se analiza con relación a las satisfacciones de las necesidades del cliente con los competidores con la planta de potabilización del municipio de Roldadillo y Acuaviva S.A. E.S.P.

- Planta de potabilización del municipio de Roldanillo
- Acuaviva S.A. E.S.P.

3.4. Descomposición funcional.

Mediante la caja negra (figura 5, 6) se logra la descomposición del problema en subproblemas.

Figura 5.

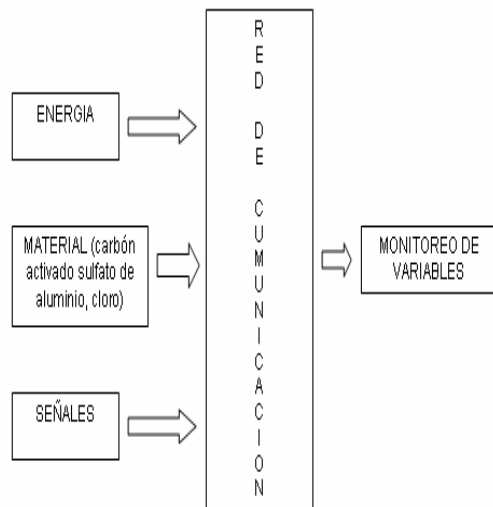
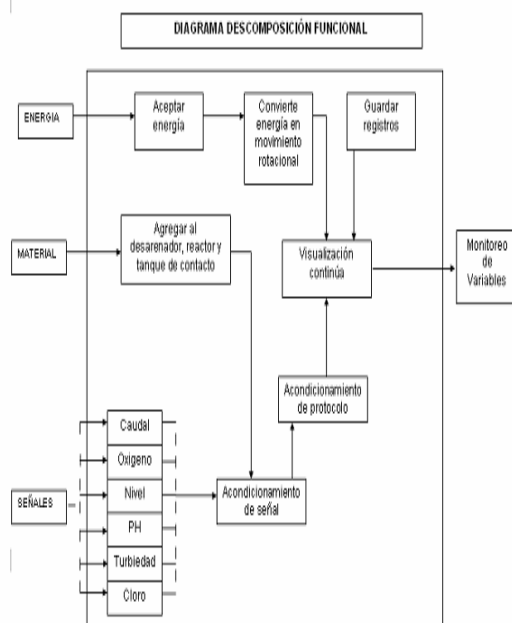


Figura 6.



3.5. Identificación y selección de conceptos.

Se identificaron los conceptos y las posibles combinaciones según el cliente. Ver siguientes figuras.

Figura 7.

AUTOM.	RED	CONEX.	OPER.	TOPOL.	B. CAMPO.	B. GESTIO.	VISUALIZ.
PLC	LOCAL	Coaxial	Remota	Bus	Profibus	Ethernet	Análogos
PC	AMPLIA	Trenzado	Local	Estrella	Devicenet	Profibus	Digitales
		F. óptica		Anillo	F. fieldbus	Controlnet	T. panel
		Radio		Malta	Modbus	Modbus	
		Infrarojos		Árbol	Controlnet		
		Microondas		Mixta			
		Inalámbrica					

CONCEPTO (A)

Figura 8.

AUTOM.	RED	CONEX.	OPER.	TOPOL.	B. CAMPO.	B. GESTIO.	VISUALIZ.
PLC	LOCAL	Coaxial	Remota	Bus	Profibus	Ethernet	Análogos
PC	AMPLIA	Trenzado	Local	Estrella	Devicenet	Profibus	Digitales
		F. óptica		Anillo	F. fieldbus	Control net	T. panel
		Radio		Malta	Modbus	Modbus	
		Infrarojos		Árbol	Controlnet		
		Microondas		Mixta			
		Inalámbrica					

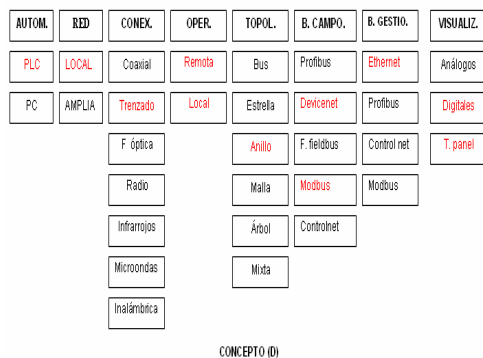
CONCEPTO (B)

Figura 9.

AUTOM.	RED	CONEX.	OPER.	TOPOL.	B. CAMPO.	B. GESTIO.	VISUALIZ.
PLC	LOCAL	Coaxial	Remota	Bus	Profibus	Ethernet	Análogos
PC	AMPLIA	Trenzado	Local	Estrella	Devicenet	Profibus	Digitales
		F. óptica		Anillo	F. fieldbus	Control net	T. panel
		Radio		Malta	Modbus	Modbus	
		Infrarojos		Árbol	Controlnet		
		Microondas		Mixta			
		Inalámbrica					

CONCEPTO (C)

Figura 10.



Finalmente se evalúan los conceptos seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios de selección, teniendo en cuenta los planteamientos de los ingenieros y operarios.

- Durabilidad: Tiempo de vida útil del proyecto.
- Fácil de manejar: que el sistema sea de fácil entendimiento al personal de operación.
- Compatibilidad con instrumentos actuales: que la nueva tecnología acople fácil de igual manera las condiciones para protocolos en futuro.
- Tiempo de muestreo: es el tiempo que cada instrumento es monitoreado para conocer sus variables.
- Estandarización: es la seguridad del cumplimiento de los rangos establecidos por la empresa y normas de calidad.
- Mantenimiento: rango de tiempo en que al instrumento se le realiza una verificación de estado mecánico, eléctrico, neumático, hidráulico logrando hacer calibraciones. Evitando los percances de tiempo muerto.
- Precisión de las variables medidas: calidad de la señal transmitida por los instrumentos
- Fácil de manufacturar: materiales de bajo costo y bajo complejidad de partes de manera

3.6. Evaluación de conceptos.

A través de la valoración de los conceptos con ayuda de la matriz de tamizaje (tabla 2) se confirma la falta confiabilidad que hay en el

proceso de desintegración de fibra larga importada. Ver tabla 4.

Tabla 4.

CRITERIO DE SELECCION	CONCEPTO (A)	CONCEPTO (B)	CONCEPTO (C)	CONCEPTO (D)
Durabilidad	0	0	0	0
Fácil de manejar	-	+	+	+
Compatibilidad (NSTRUMENTOS)	-	-	+	+
Tiempo de muestreo	0	0	0	0
Estandarización	0	-	+	+
mantenimiento	-	0	+	+
Precisión	+	+	+	+
fácil de manufacturar	-	-	0	-
Suma +	1	2	5	5
Suma 0	2	3	3	2
Suma -	4	3	0	1
Puntuación neta	-3	-1	5	4
rango	4	3	1	2
¿Continua?	NO	NO	SI	SI

Posteriormente se realiza una valoración más exhaustiva a través de la matriz de evaluación. Ver tabla 5.

Tabla 5.

CRITERIO DE SELECCION	PESO	CONCEPTO (A)		CONCEPTO (C)		CONCEPTO (D)	
		CALIFICACION	PUNTAJON PONDERADA	CALIFICACION	PUNTAJON PONDERADA	CALIFICACION	PUNTAJON PONDERADA
Durabilidad	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Fácil de manejar	10%	3	0.3	3	0.3	3	0.3
Compatibilidad (NSTRUMENTOS)	5%	2	0.1	3	0.15	3	0.15
Tiempo de muestreo	5%	2	0.1	3	0.15	3	0.15
Estandarización	25%	2	0.5	3	0.75	3	0.75
mantenimiento	20%	4	0.8	4	0.8	3	0.20
precisión en las variables medidas	15%	2	0.3	3	0.45	3	0.45
fácil de manufacturar	10%	1	0.1	4	0.4	3	0.3
Puntuación neta			2.5		3.3		2.6
rango			4		1		2
¿Continua?		NO		SI		SI	

4. ANÁLISIS PARA LA SELECCIÓN DE LA RED DE COMUNICACIÓN ENTRE CONTROLADORES Y COMPUTADORES DE GESTIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE PUERTO MALLARINO EMCALI E.I.C.E E.S.P.

Para el análisis del problema que consiste en selección de la red de comunicación entre controladores y computadores de gestión en la

planta de tratamiento de agua potable de puerto Mallarino emcali e.i.c.e e.s.p. se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Nivel físico de la red de comunicación industrial que sea confiable, eficaz y eficiente.
- Seleccionar el mejor bus de campo aplicado a los equipos existentes a la planta.
- Proponer una red en donde se garantice la automatización remota de los subprocesos de la planta.
- Proponer una configuración adecuada que cumpla con los equipos.
- Plantear las variables más importantes en los subprocesos.

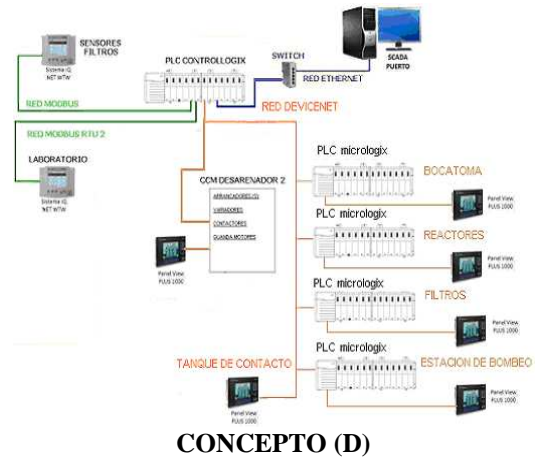
Por la existencia de equipos en funcionamiento en la planta y cumpliendo con las premisas y las restricciones del capítulo anterior, el bus de campo a utilizar tendrá que ser entre Devicenet y Controlnet. En la siguiente tabla se muestra un paralelo entre estos buses de campo mostrando así sus características principales. Ver tabla 6.

Tabla 6.

	DEVICENET	CONTROLNET
GESTION O CONTROL	Gestión y control	Gestión y control
MULTI-MAESTRO O MONO-MAESTRO	Maestro/esclavo	Punto a punto
VELOCIDAD DE TRANSMISION	Punto a punto 500 kbps	5Mbps
CANTIDAD DE NODOS	64 nodos	99 nodos(vía taps)
TOPOLOGIA	Bus-estrella	bus, árbol
DISTANCIA	125 kbps – 500m 250 kbps – 250m 500 kbps – 100m	5 Mbps – 100m 500 kbps – 5 km

Con la tabla anterior (tabla 4.) se observa que controlnet tiene mayor velocidad de transmisión pero las características más importantes de controlnet es que no esta soportado por muchos fabricantes, controlnet maneja controladores muy complejos y resulta de elevado precio por nodo. Se ha utilizado para interconexión de redes de Plc y computadores industriales en aplicaciones de alta velocidad y ambientes muy críticos, sin embargo se utilizara devicenet para la red de gestión que se quiere implementar en Emcali.

Figura 11. Arquitectura propuesta por los estudiantes.



5. IMPLEMENTACIÓN DEL “HMI”

Implementación del “hmi” en la sección de instrumentación de la planta puerto Mallarino EMCALI. (Manual de usuario). Ver siguientes figuras.

Figura 12.



Figura 13.



Figura 14.



Figura 15.

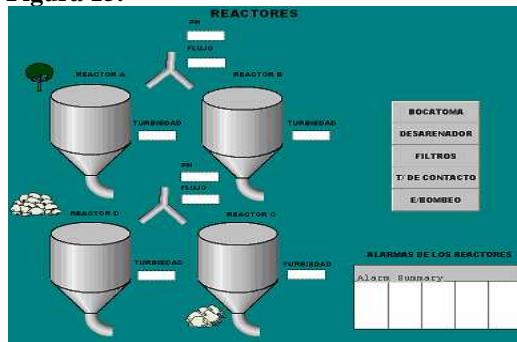


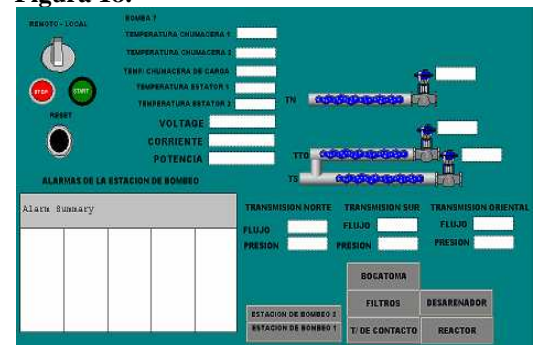
Figura 16.



Figura 17.



Figura 18.



6. CONCLUSIONES

- Con el estudio teórico del proceso se puede concluir que la potabilización de agua es uno de los procesos más complejos en el que interactúan numerosas variables internas como externas. En el proceso están incluidas las normas que exige el ministerio de salud en Colombia y que se cumplen a cabalidad para excelentes resultados.
- Con el estudio detallado del proceso de potabilización de agua que se realiza en la planta de tratamiento de agua potable de puerto mallarino emcali e.i.c.e, se pudo analizar que el método utilizado en puerto Mallarino es eficiente y eficaz por que cumple con los estándares de calidad impuesto por la organización mundial de la salud.
- Actualmente la planta de tratamiento de agua potable de puerto mallarino emcali e.i.c.e e.s.p. tiene una deficiencia en el proceso de potabilización de agua por lo que el 40% de la instrumentación actual y existente en puerto Mallarino no está en buen funcionamiento, y el 60% restante está en funcionamiento.
- El propósito de la investigación planteada en este trabajo demuestra la realización del estudio detallado de toda la instrumentación que interactúa en el proceso de potabilización de agua en la planta de tratamiento de agua potable de puerto Mallarino emcali e.i.c.e, permitiendo la implementación del método de ingeniería concurrente.
- Se realizaron diagramas P&ID actualizados en donde se puede ver la

instrumentación existente de los diferentes subprocesos de la planta puerto Mallarino.

- Se dio a conocer el estado, ubicación y función de cada uno de los sensores utilizados en instrumentación analítica de la planta puerto Mallarino.
- Al implementar el método de ingeniería concurrente se logro identificar las verdaderas necesidades del cliente (EMCALI e.i.c.e e.s.p.) por que es la parte integral en la fase de desarrollo dando como resultado la guía para establecer las especificaciones de una manera jerárquica, brindando un canal de información de alta calidad para el proceso y asegurando un enfoque a las necesidades.
- El propósito de la ingeniería concurrente es aclarar el problema y descomponerlo en sub. problemas más simples mediante una búsqueda externa e interna reflejando soluciones del proceso por medio del cumplimiento de los pasos aprendidos en el método de ingeniería concurrente.
- Por una directriz que maneja la empresa (EMCALI e.i.c.e e.s.p.) de trabajar con equipos Allen Bradley (ROCKELL AUTOMATION) se limitan la solución de problemas por ligarse a una sola marca.
- Por medio del “HMI” se le Brinda a un proceso las opciones de confiabilidad, monitoreo, decisión, registros, versatilidad, ajustes, etc. Reduciendo significativamente las pérdidas.

7. REFERENCIAS

Catarina [en línea]. México: Universidad ameritas, 2007. [Consultado 02 de Agosto de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.edu-UA/universidad/ameritas.com.mx>

COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Decreto 1575 DE 2007 (Mayo 9). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo

Humano [en línea]. Bogotá D.C. [Consultado 20 de agosto de 2008]. Disponible en internet:

http://basedoc.superservicios.gov.co/basedoc/decreto_nacional.shtml?x=63315

CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación Industrial. Madrid: Marcombo, 1979. 357 p.

GARCIA MORENO, Emilio. Automatización de procesos industriales. México DF: Alfa omega, 2001. 380 p.

LÓPEZ DÍAZ, José. Norma ANSI/ISA para instrumentos. 6 ed. México D.C.: Thomson, 2003. 456 p.

MEDRANO RINCON, Héctor. Sistema de monitoreo y calidad y macromedición para una planta de tratamiento de agua. Bogota: Biosciences LTDA, 2005. 45 p.

ORTIZ ROSAS, Adolfo. Manual HMI DEMO. Santiago de Cali, 2008. 1 archivo de computador.

PÁEZ, Álvaro. Simbología e interpretación de instrumentos en diagrama de flujo e Instrumentación (PID). Santiago de Cali, 2007. 1 archivo de computador.

ROMERAL, José Luis. Autómatas programables. México: Marcombo, 1997. 456 p.

SWITH, Carlos. Control Automático de Procesos. México: Limusa S.A., 1991. 276 p.

TOBON, Luis ángel. Manual de operación de la planta de Puerto Mallarino EMCALI E.I.C.E E.S.P. Santiago de Cali, 2007. 1 Archivo de computador.

TOBON, Luis ángel. Manual de operación de de la planta de potabilización de agua de Palmira ACUAVIVA. Santiago de Cali, 2007. 1 Archivo de computador.

ULRICH, Karl t. Diseño y desarrollo de productos enfoque multidisciplinario. 3 ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. 253 p.

VILORIA ROLDAN, José. Automatismos y cuadros eléctricos. 3 ed. Bogotá: Paraninfo, 2001, 365 p.

Anexo B. Red de área local

Una red de área local, o red local, es la interconexión de varios ordenadores y periféricos. (LAN es la abreviatura inglesa de Local Área Network, 'red de área local'). Su extensión esta limitada físicamente a un edificio o a un entorno de hasta 100 metros. Su aplicación más extendida es la interconexión de ordenadores personales y estaciones de trabajo en oficinas, fábricas, etc., para compartir recursos e intercambiar datos y aplicaciones. En definitiva, permite que dos o más máquinas se comuniquen. El término red local incluye tanto el hardware como el software necesario para la interconexión de los distintos dispositivos y el tratamiento de la información.

Anexo C. Red de área amplia

Una Red de Área Amplia (Wide Área Network o WAN, del inglés), es un tipo de red de computadoras capaz de cubrir distancias desde unos 100 hasta unos 1000 km, dando el servicio a un país o un continente. Un ejemplo de este tipo de redes sería RedIRIS, Internet o cualquier red en la cual no estén en un mismo edificio todos sus miembros (sobre la distancia hay discusión posible). Muchas WAN son construidas por y para una organización o empresa particular y son de uso privado, otras son construidas por los proveedores de Internet (ISP) para proveer de conexión a sus clientes.

Anexo D. Cable coaxial

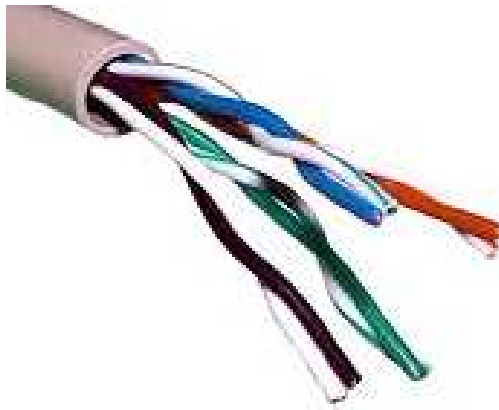
el cable coaxial, o cable coaxial es un cable eléctrico formado por dos conductores concéntricos, uno central o núcleo, formado por un hilo sólido o trenzado de cobre (llamado positivo o vivo), y uno exterior en forma de tubo o vaina, y formado por una malla trenzada de cobre o aluminio o bien por un tubo, en caso de cables semirrígidos. Este último produce un efecto de blindaje y además sirve como retorno de las corrientes. El primero está separado del segundo por una capa aislante llamada dieléctrico. De la calidad del dieléctrico dependerá principalmente la calidad del cable. Y todo el conjunto puede estar protegido por una cubierta aislante.



Anexo E. Cable de par trenzado

El cable de par trenzado es una forma de conexión en la que dos conductores son entrelazados para cancelar las interferencias electromagnéticas (IEM) de fuentes externas y la diafonía de los cables adyacentes.

El entrelazado de los cables disminuye la interferencia debido a que el área de bucle entre los cables, el cual determina el acoplamiento magnético en la señal, es reducida. En la operación de balanceado de pares, los dos cables suelen llevar señales iguales y opuestas (modo diferencial), las cuales son combinadas mediante sustracción en el destino. El ruido de los dos cables se cancela mutuamente en esta sustracción debido a que ambos cables están expuestos a IEM similares.



Anexo F. Fibra óptica

La fibra óptica es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos. La fibra óptica es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión total interna. Normalmente la luz es emitida por un láser o un LED.

Las fibras son ampliamente utilizadas en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a gran velocidad, mayor que las comunicaciones de radio y cable. También se utilizan para redes locales. Son el medio de transmisión inmune a las interferencias por excelencia. Tienen un costo elevado



Anexo G. Red inalámbrica

Las redes inalámbricas (en inglés wireless network) son aquellas que se comunican por un medio de transmisión no guiado (sin cables) mediante ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de antenas.

Tienen ventajas como la rápida instalación de la red sin la necesidad de usar cableado, permiten la movilidad y tienen menos costes de mantenimiento que una red convencional.

CARACTERÍSTICAS.

Ondas de radio: Las ondas electromagnéticas son Homn direccionales, así que no son necesarias las antenas parabólicas. La transmisión no es sensible a las atenuaciones producidas por la lluvia ya que se opera en frecuencias no demasiado elevadas. En este rango se encuentran las bandas desde la ELF que va de 3 a 30 Hz, hasta la banda UHF que va de los 300 a los 3000 MHz, es decir, comprende el espectro radioeléctrico de 30 - 3000000 Hz.

Microondas terrestres: Se utilizan antenas parabólicas con un diámetro aproximado de unos tres metros. Tienen una cobertura de kilómetros, pero con el inconveniente de que el emisor y el receptor deben estar perfectamente alineados. Por eso, se acostumbra a utilizar en enlaces punto a punto en distancias cortas. En este caso, la atenuación producida por la lluvia es más importante ya que se opera a una frecuencia más elevada. Las microondas comprenden las frecuencias desde 1 hasta 300 GHz.

Microondas por satélite: Se hacen enlaces entre dos o más estaciones terrestres que se denominan estaciones base. El satélite recibe la señal (denominada señal ascendente) en una banda de frecuencia, la amplifica y la retransmite en otra banda (señal descendente). Cada satélite opera en unas bandas concretas. Las fronteras frecuenciales de las microondas, tanto terrestres como por satélite, con los infrarrojos y las ondas de radio de alta frecuencia se mezclan bastante, así que pueden haber interferencias con las comunicaciones en determinadas frecuencias.

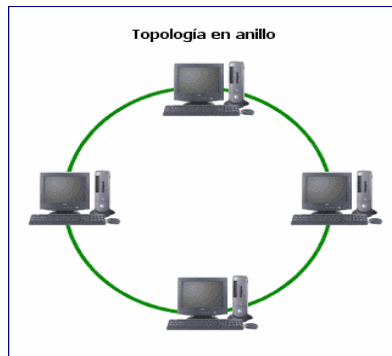
Infrarrojos: Se enlazan transmisores y receptores que modulan la luz infrarroja no coherente. Deben estar alineados directamente o con una reflexión en una superficie. No pueden atravesar las paredes. Los infrarrojos van desde 300 GHz hasta 384 THz.

Anexo H. Red en anillo

Topología de red en la que las estaciones se conectan formando un anillo. Cada estación está conectada a la siguiente y la última está conectada a la primera. Cada estación tiene un receptor y un transmisor que hace la función de repetidor, pasando la señal a la siguiente estación del anillo.

En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un Token o testigo, que se puede conceptualizar como un cartero que pasa recogiendo y entregando paquetes de información, de esta manera se evita pérdida de información debido a colisiones.

Cabe mencionar que si algún nodo de la red se cae (termino informático para decir que esta en mal funcionamiento o no funciona para nada) la comunicación en todo el anillo se pierde.



Anexo I. Red en árbol

Topología de red en la que los nodos están colocados en forma de árbol desde una visión topológica, la conexión en árbol es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas es una variación de la red en bus, la falla de un nodo no implica interrupción en las comunicaciones. Se comparte el mismo canal de comunicaciones.

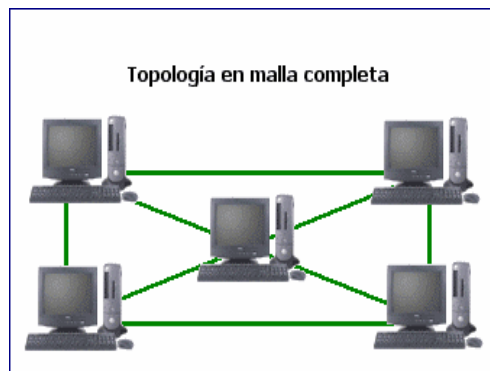
Cuenta con un cable principal (*backbone*) al que hay conectadas redes individuales en bus.



Anexo J. Red en malla

La Red en malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más de los otros nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.

Si la red de malla está completamente conectada no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones. Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores.

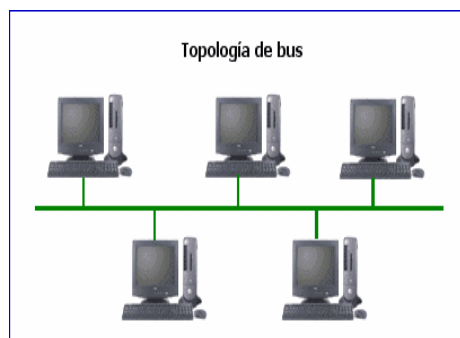


Anexo K. Red en bus

Topología de red en la que todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicaciones por medio de unidades interfaz y derivadores. Las estaciones utilizan este canal para comunicarse con el resto.

La topología de bus tiene todos sus nodos conectados directamente a un enlace y no tiene ninguna otra conexión entre nodos. Físicamente cada host está conectado a un cable común, por lo que se pueden comunicar directamente, aunque la ruptura del cable hace que los hosts queden desconectados.

La topología de bus permite que todos los dispositivos de la red puedan ver todas las señales de todos los demás dispositivos, lo que puede ser ventajoso si desea que todos los dispositivos obtengan esta información. Sin embargo, puede representar una desventaja, ya que es común que se produzcan problemas de tráfico y colisiones, que se pueden paliar segmentando la red en varias partes. Es la topología más común en pequeñas LAN, con hub o switch final en uno de los extremos.

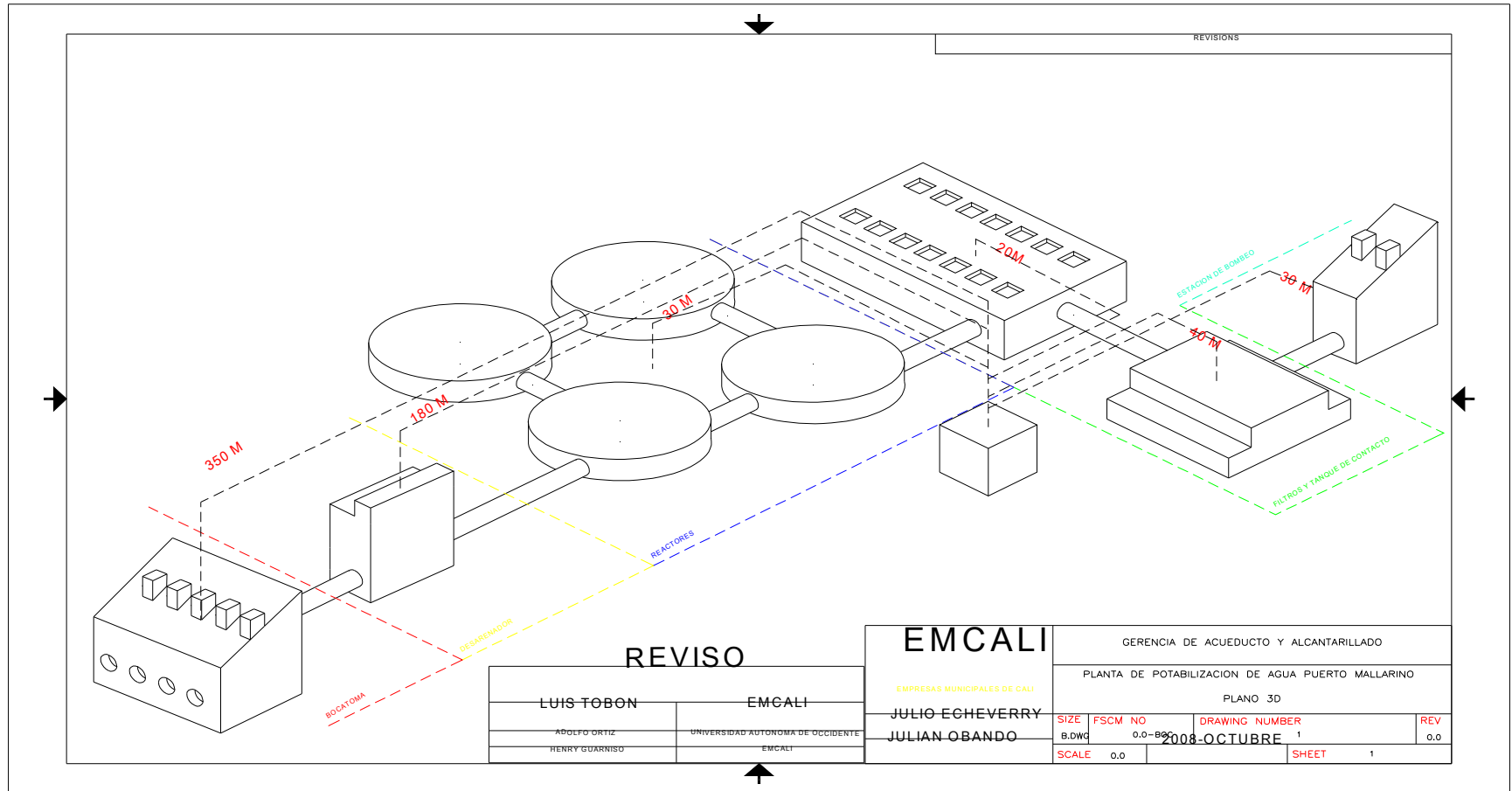


Anexo L. Red en estrella

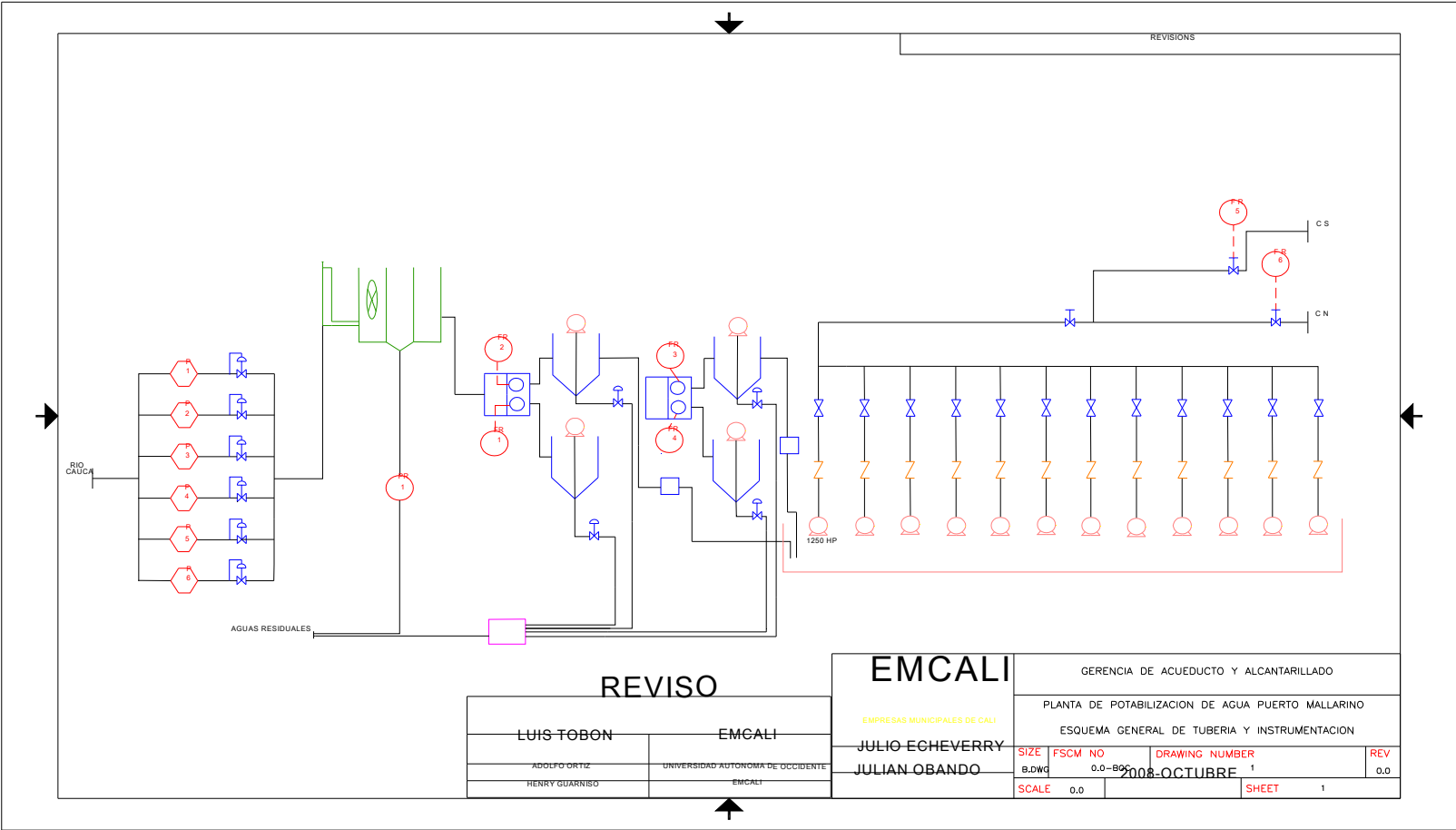
Red en la cual las estaciones están conectadas directamente al servidor u ordenador y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de él. Todas las estaciones están conectadas por separado a un centro de comunicaciones, concentrador o nodo central, pero no están conectadas entre sí. Esta red crea una mayor facilidad de supervisión y control de información ya que para pasar los mensajes deben pasar por el hub o concentrador, el cual gestiona la redistribución de la información a los demás nodos. La fiabilidad de este tipo de red es que el malfuncionamiento de un ordenador no afecta en nada a la red entera, puesto que cada ordenador se conecta independientemente del hub, el costo del cableado puede llegar a ser muy alto. Su punto débil consta en el hub ya que es el que sostiene la red en uno.



Anexo M. Isométrico de distancias.



Anexo N. Esquema general de tubería e instrumentación



Anexo Ñ. Panelview

Las terminales PanelView 550, 600, 900, 1000, 1400 proporcionan una interfase de operador con las ventajas de montaje en espacios reducidos, pantallas planas o de hasta tamaños de 14 pulg. De pantalla. Estas interfaces electrónicas de operador ofrecen cualidades de desplegados de gráficos en pixeles y la mejora de la funcionalidad de las pantallas en color, escala de grises, y pantallas monocromáticas.

Funcionalidad mejorada que incluye manejo de alarmas, entradas y desplegados en caracteres ASCII, soporte Universal de Idiomas, tarjetas de memoria de respaldo y / o de expansión, números de punto flotante y el uso de impresoras en línea.

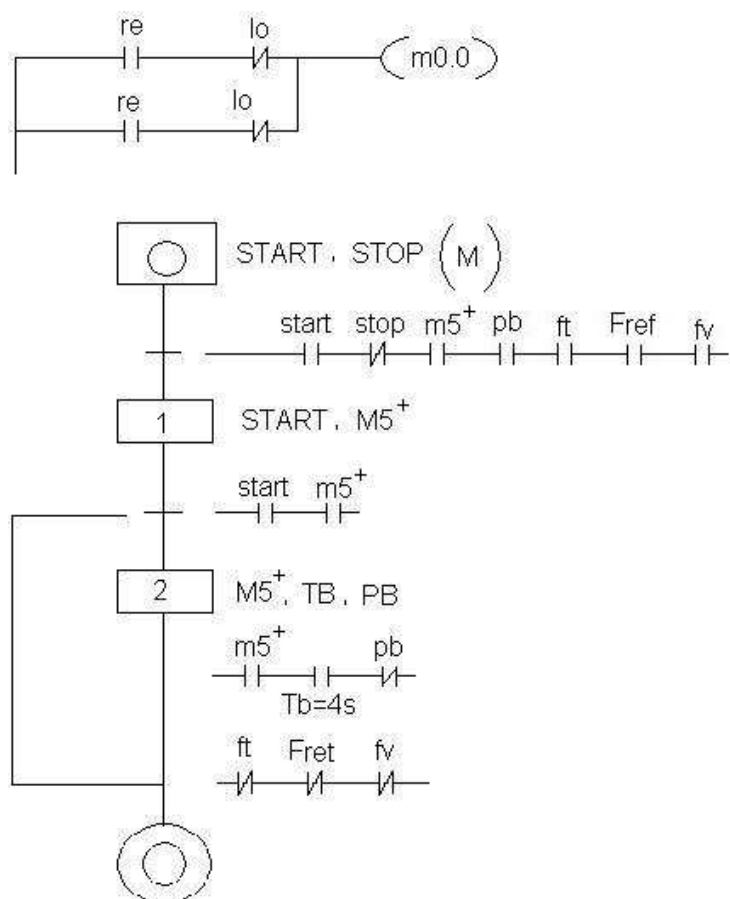
Las Terminales están integradas para múltiples versiones de protocolos de comunicación.

- Remote I/O conexión un controlador PLC o SLC¹ a una red de campo Remote I/O Universal, soportados por bloques de transferencia o en forma de E/S discretas los datos. De igual manera soporta la comunicación Pass-Through en Remote I/O.
- DH-485 conexión uno o varios procesadores SLC 500 en una red Allen-Bradley DH-485. El acceso directo a los archivos de datos del procesador SLC minimiza el diagrama Lógico. Soporta conexión punto a punto o transferencia en red. Soporta además a los controladores MicroLogix 1000 y 1500.
- RS-232 conexión a través del Puerto serie (Canal 0) de un controlador SLC 5/03 o 5/04 usando protocolo DH-485. La terminal con puerto RS-232 proporciona una conexión dedicada para datos de alta prioridad. Soporta la función de Pass-Through desde la red DH+ al PanelView a través del Puerto 0 de un controlador SLC 5/04. así también soporta conexión a controladores MicroLogix 1000 y 1500.
- DH+ conexión a uno o múltiples controladores PLC-5 o SLC 5/04 en una red Allen-Bradley DH+. Acceso directo a los archivos de datos del controlador minimizando el uso de instrucciones en el diagrama lógico.
- DeviceNet conexión y comunicación a nivel de dispositivos utilizando un enlace DeviceNet usando funciones de servidor explicitó, siente explicito, o atendiendo solamente mensajes. También conecta controladores PLC-5 o 5/04 en un enlace DeviceNet usando módulos escáner para DeviceNet.

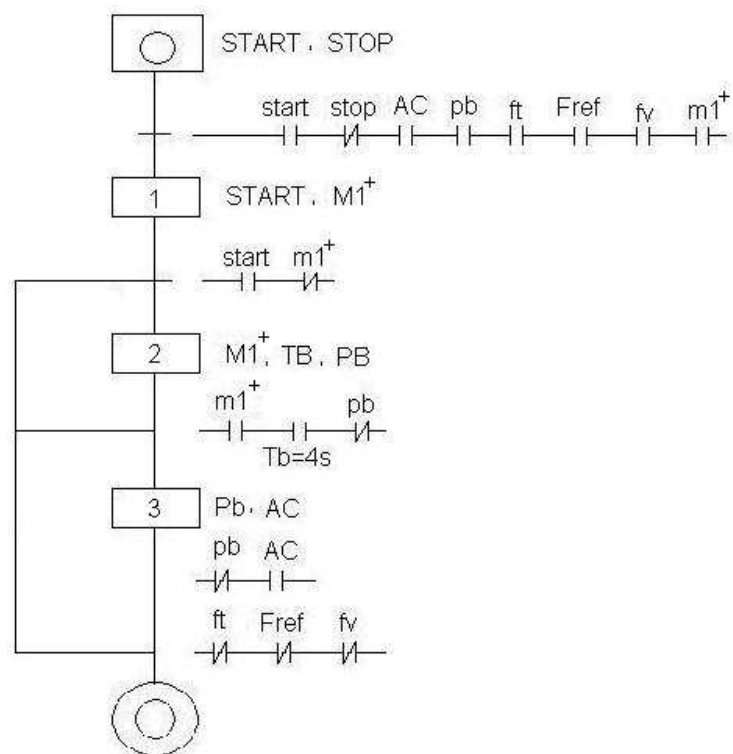
- Controlnet conexión desde uno hasta 99 controladores PLC en una red de Rockwell Automación Controlnet. Proporciona el soporte de datos solicitados y no – solicitados para PLC y Controllogix con una media de comunicación redundante.

Anexo O. Grafset de los subsistemas

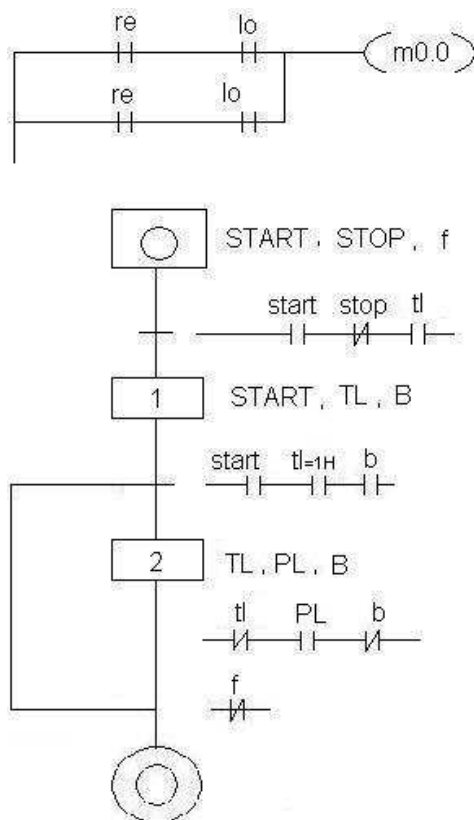
Bocatoma bombas 5 y 6.



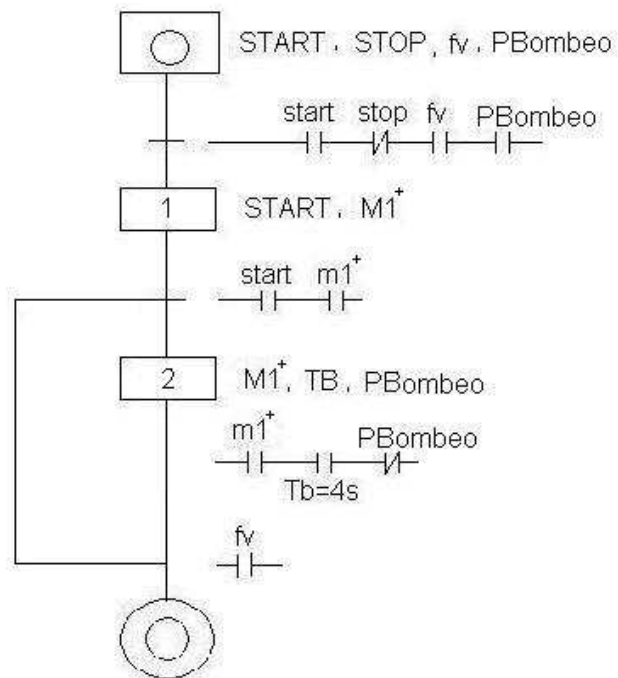
Bocatoma bombas 1, 2, 3 y 4.



Desarenador 1, 2, 3 y 4.



Estación de bombeo.



Anexo P. Cantidad de variables

SUBPROCESO	VARIABLES IMPLÍCITA EN EL PROCESO	CANTIDAD(#)
Captación	<ul style="list-style-type: none"> • Oxígeno • PH • Turbiedad • Nivel 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxígeno (2) • PH (1) • Turbiedad (1) • Nivel (2)
Desarenación		
Coagulación Floculación Desarenación	<ul style="list-style-type: none"> • PH • Turbiedad • Caudal 	<ul style="list-style-type: none"> • PH (2) • Turbiedad (4) • Caudal (2)
Filtración	<ul style="list-style-type: none"> • cloro residual • aluminio residual 	<ul style="list-style-type: none"> • Cloro residual (1) • Aluminio residual (1)
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel • Cloro residual 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel (1) • Cloro residual (1)
Bombeo	<ul style="list-style-type: none"> • presión • Cloro residual • PH • Turbiedad • Caudal 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión (3) • Cloro residual (1) • PH (1) • Turbiedad (1) • Caudal (3)